

Contribuição da rigidez à flexão da laje treliçada para a estabilidade global da estrutura

Rogério José Solidário Chaves ^[1], Igor Pacchioni Cândido da Silva ^[2], Felipe Nascimento Arroyo ^[3], Vinícius Borges de Moura Aquino ^[4], André Luis Christoforo ^[5]

[1] rogerio@fcdengenharia.com. Universidade Federal de São Carlos. [2] igor.pacchioni@unasp.edu.br. Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP. [3] lipe.arroyo@gmail.com. Universidade Federal de São Carlos. [4] aquino.vini@hotmail.com. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. [5] christoforoal@yahoo.com.br. Universidade Federal de São Carlos

RESUMO

A Engenharia está sempre buscando otimizar os elementos estruturais, seja para reduzir o custo e o tempo da construção, para obter mais eficiência estrutural ou para ter uma construção mais racional. Com o avanço da tecnologia, a Engenharia melhora a qualidade dos materiais, como por exemplo a utilização de concretos mais resistentes, e isso possibilita a construção de prédios mais altos. Um dos materiais que surgiu com esse avanço foi a laje treliçada, sendo mais barata e demandando menos tempo de execução que a laje usualmente utilizada de concreto armado maciço. Dessa forma, este artigo tem como objetivo principal verificar o comportamento do funcionamento de lajes treliçadas como diafragma rígido. Para isso, foi modelado um prédio de 16 pavimentos no SAP2000, que trabalha com elementos finitos, comparando o parâmetro do prédio com laje maciça, com laje treliçada em apenas uma direção (sentido das vigotas na maior e posteriormente na menor rigidez do prédio), considerando a laje bidirecional e, por fim, intercalando o sentido das lajes. Após análise, foi possível concluir que a laje treliçada funciona como um diafragma rígido, assim como a laje maciça.

Palavras-chave: Diafragma rígido. Lajes treliçadas. Concreto armado. Análise estrutural.

ABSTRACT

Engineering is always looking to optimize structural elements to reduce the construction cost and time, whether to get more structural efficiency or a more rational construction method. With technological advancement, engineering improves the quality of materials, such as more resistant concrete and building taller buildings. One of the materials that came up with this advance was the lattice slab, being cheaper and requiring less execution time than the slab usually used for solid reinforced concrete. Thus, this article aims to verify the behavior of the operation of lattice slabs as a rigid diaphragm. For this, a 16-storey building was modeled in SAP2000, which works with finite elements, comparing the building parameters with massive slab, with lattice slab in only one direction (direction of the joists in the largest and later in the lowest stiffness of the building), considering the bidirectional slab and, finally, interspersing the direction of the slabs. After analysis, the results showed that the lattice slab works as a rigid diaphragm or a solid slab.

Keywords: Rigid Diaphragm. Lattice Slabs. Engineering. Armed Concrete. Structural Analysis.

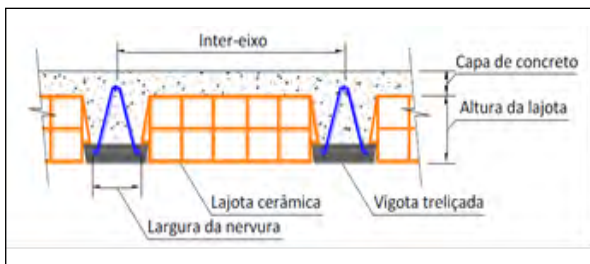
1 Introdução

A Engenharia Civil no Brasil vem sempre passando por mudanças, objetivando economia de material, rapidez na execução, qualidade no produto final, entre outros (AVILLA JÚNIOR, 2010). Nesse contexto, a laje treliçada surgiu com o propósito de agilizar o processo construtivo, além de suportar grandes vãos, diminuir o peso da estrutura, não necessitar de escoras e proporcionar melhores propriedades acústicas e térmicas, quando utilizado EPS em seu interior (SARTORTI; FONTES; PINHEIRO, 2013).

Segundo Sartori, Fontes e Pinheiro (2013), essas lajes foram criadas tendo em vista que o concreto não é resistente à tração. Dessa forma, no lugar do concreto tracionado abaixo da linha neutra, foram inseridos elementos inertes, com menor peso que o concreto, como, por exemplo, o EPS ou lajotas cerâmicas. Já a tração é resistida pelo aço.

A laje treliçada pode ser confeccionada em apenas uma direção ou em duas direções, sendo mais comum em obras corriqueiras que se use o sistema unidirecional por efeito de facilidade de execução (STORCH *et al.*, 2017). Importante destacar que a laje treliçada em uma direção possui uma rigidez maior para trabalhar como diafragma rígido no sentido das vigotas treliçadas, ou seja, é apenas nesse sentido que a laje consegue distribuir os esforços entre os pórticos (SARTORTI, 2016).

Figura 1 – Seção de uma laje treliçada com lajota cerâmica



Fonte: Sartorti (2016)

Lajes que trabalham como diafragma rígido são de extrema importância para o cálculo de uma estrutura, principalmente em edificações altas em que o esforço do vento é relevante. Nesses tipos de estruturas, as lajes, além de receber e transmitir os esforços verticais (carga de pessoas, por exemplo), precisam ser capazes de distribuir os esforços horizontais (vento) de pórtico para pórtico. Edifícios com lajes que trabalham

como diafragma rígido são sempre mais seguros e econômicos (BUZO, 2017).

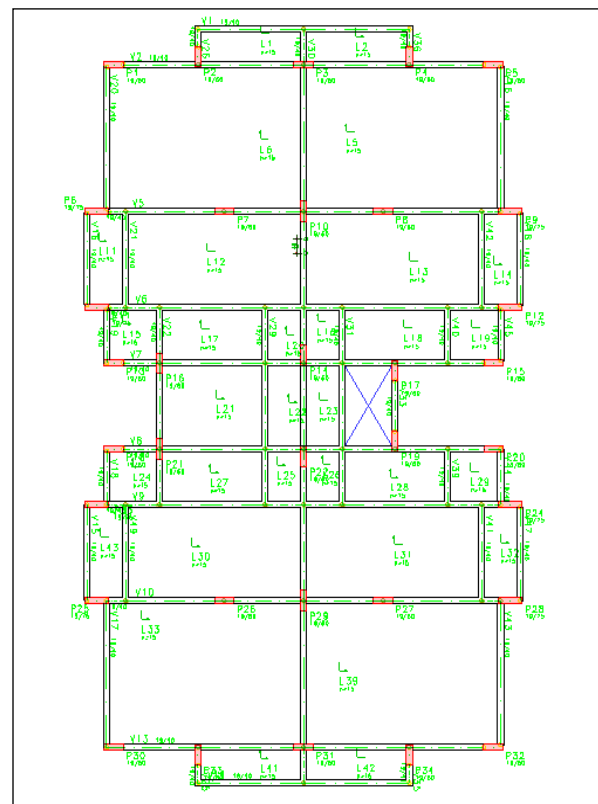
Este trabalho tem como objetivo verificar a eficiência dessas lajes frente à distribuição dos esforços de vento (laje trabalhando como diafragma rígido), além de comparar modelos com lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais e bidirecionais.

2 Material e métodos

2.1 Descrição da estrutura

O prédio é formado por dezesseis pavimentos, possuindo uma escada centralizada juntamente com o elevador, e um ático acima da cobertura para alocação da casa de máquinas do elevador e da caixa d'água. Para efeito do cálculo do Gama Z, o ático foi desprezado e só a altura final da cobertura foi considerada no cálculo da altura final. O sistema estrutural utilizado é o de pilares e vigas, não optando por usar os elementos rígidos nas caixas de escada, pois o objetivo é que o prédio se deforme para verificar os efeitos do diafragma rígido. A planta e o esquema de altura do prédio são demonstrados nas Figuras 2 e 3.

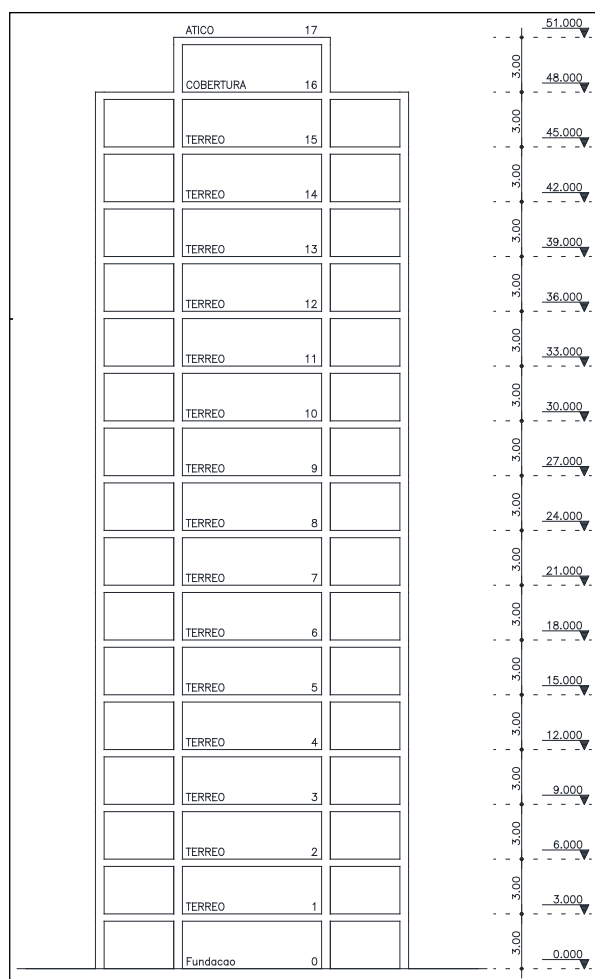
Figura 2 – Planta de formas do edifício



Fonte: elaboração própria

As dimensões dos pilares são de 19 cm x 60 cm e 19 cm x 75 cm, e das vigas de 19 cm x 40 cm; a resistência do concreto adotado é de 25 MPA. Um corte esquemático do edifício é demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Corte esquemático do edifício



Fonte: elaboração própria

2.2 Carregamentos

A sobrecarga utilizada, de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 1980), é de 2 kN/m². O carregamento permanente devido ao revestimento nas lajes foi de 1,5 kN/m². Para a cobertura, foi considerada uma sobrecarga de 0,5 kN/m², visto que esta não era de acesso ao público. Para o ático, foi considerado uma carga de 60 kN/m², considerando os reservatórios de água potável, e, para a casa de máquinas, uma carga de 7 kN/m². As cargas das paredes sobre as vigas foram consideradas de 9 kN/m.

2.2.1 Vento

O cálculo do vento foi feito de acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1988). Para a região de Campinas, a velocidade básica do vento é de 45 m/s, considerando a rajada básica de 3 segundos, um período de retorno de 50 anos e a probabilidade de 63% de ser excedida pelo menos uma vez no período. A pressão de obstrução é dada pela seguinte fórmula, conforme NBR 6123 (ABNT, 1988):

$$q_{vento} = 0,613 \cdot V_k^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Em que: V_k depende da velocidade básica do vento (V_0) e dos coeficientes S_1 , S_2 e S_3 .

Dessa forma, o fator S_1 foi considerado como 1, por ser adotado terreno plano ou fracamente acidentado. O fator S_2 , considerando categoria III e classe B, foi definido pela fórmula:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2)$$

Em que: "z" é a altura acima do terreno; "F_r" é o fator de rajada correspondente a categoria III; "b" é o parâmetro de correção da classe da edificação; e "p" é o parâmetro meteorológico.

Por final, o parâmetro foi considerado como 1, visto que essa edificação tem a ocupação definida como residencial.

2.2.2 Coeficiente de arrasto

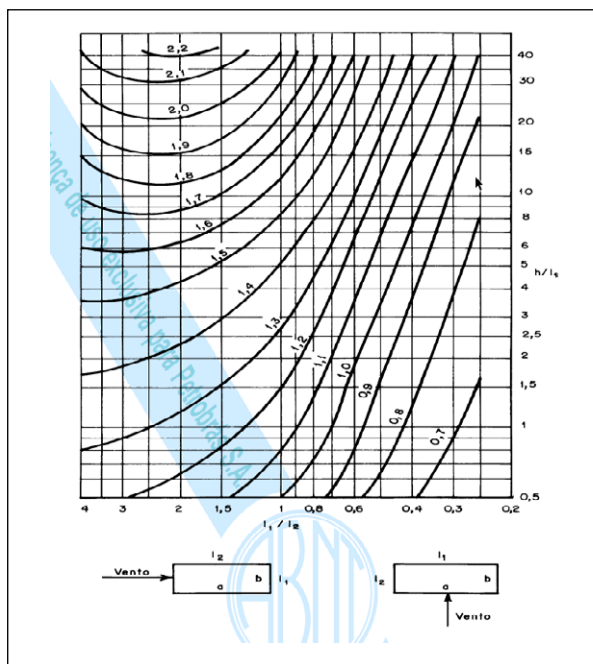
Segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), em definição constante no seu item 6.3, e Carvalho (2009), também concordando com a norma, coeficiente de arrasto é aquele determina a força global da estrutura, podendo ser inserido em relações de largura e altura da edificação no ábaco, conforme a Figura 4. Para esse trabalho, foi considerado que o edifício está situado em uma zona de baixa turbulência.

A força de arrasto é definida pela seguinte fórmula:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (3)$$

Em que: " F_a " é a força de arrasto; " C_a " é o coeficiente de arrasto; " q " é a pressão de obstrução do vento; e " A_e " é a área de influência.

Figura 4 – Ábaco para obtenção do coeficiente de arrasto



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988)

Os resultados finais dos esforços de ventos são apresentados nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Parâmetros para o cálculo do vento

ALTURA (M)	S_1	S_2	S_3
3.00	1.00	0.81	1.00
6.00	1.00	0.87	1.00
9.00	1.00	0.91	1.00
12.00	1.00	0.94	1.00
15.00	1.00	0.96	1.00
18.00	1.00	0.98	1.00
21.00	1.00	1.00	1.00
24.00	1.00	1.01	1.00
27.00	1.00	1.02	1.00
30.00	1.00	1.03	1.00
33.00	1.00	1.04	1.00
36.00	1.00	1.05	1.00
39.00	1.00	1.06	1.00
42.00	1.00	1.07	1.00
45.00	1.00	1.08	1.00
48.00	1.00	1.09	1.00

Fonte: elaboração própria

Tabela 2 – Esforços finais de vento

Vk (m/s)	q (N/m ²)	CA	P. A. (N/m ²)
36,72	826,49	1,44	1190,15
39,49	955,99	1,44	1376,63
41,21	1040,96	1,44	1498,98
42,47	1105,79	1,44	1592,33
43,48	1158,84	1,44	1668,72
44,32	1204,07	1,44	1733,86
45,04	1243,68	1,44	1790,90
45,68	1279,05	1,44	1841,83
46,25	1311,08	1,44	1887,96
46,76	1340,41	1,44	1930,19
47,23	1367,51	1,44	1969,22
47,67	1392,73	1,44	2005,53
48,07	1416,34	1,44	2039,53
48,44	1438,55	1,44	2071,51

Fonte: elaboração própria

2.3 Combinação de ações

As combinações utilizadas para a análise deste trabalho foram as seguintes:

Combinação última:

$$1,4 \cdot F_g + 1,4 \cdot V_1 + 0,7 \cdot S.C. \quad (4)$$

Para a verificação do deslocamento limite, foi utilizada a combinação frequente de ações no estado limite de serviço:

$$1 \cdot F_g + 0,3 \cdot V_1 + 0,3 \cdot S.C. \quad (5)$$

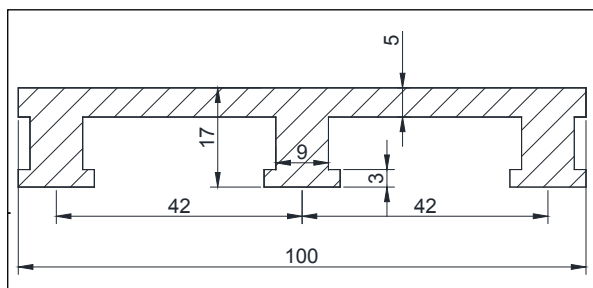
2.4 Modelo de cálculo

O objetivo deste estudo é verificar se a laje treliçada trabalha efetivamente como diafragma rígido. Foi realizada, portanto, a análise de 5 modelos diferentes de cálculo utilizando o Software SAP2000 V19.

Para a apreciação do modelo de cálculo, a laje maciça foi considerada como uma casca, assim como a laje treliçada, embora haja uma variação de rigidez à flexão entre esta e aquela. O procedimento adotado foi achar uma inércia equivalente; como o software possibilita lançar duas espessuras, uma para considerar o peso próprio e a outra para considerar a rigidez à

flexão, foi considerado esse artifício. A seção utilizada para a laje treliçada é demonstrada na Figura 5.

Figura 5 – Seção da laje treliçada



Fonte: elaboração própria

Para essa seção e para o referido modelo, foi desprezado o peso próprio do EPS no cálculo da laje. Sendo assim, a seção equivalente a uma laje maciça fica da seguinte forma:

- Inércia à flexão de 22.132,87 cm⁴;
- Espessura fictícia correspondente a

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \therefore h = \left(I \cdot \frac{b}{100} \right)^{1/3} = 13,85 \text{ cm} \quad (6)$$

- Peso próprio da laje treliçada igual a 208,25 kgf/m².

$$h_{pp} = \frac{208,25}{2500} = 0,0833 \text{ m} \quad (7)$$

Após o lançamento e o processamento dos modelos numéricos, foi realizado o cálculo do parâmetro Gama Z, muito utilizado em análises de estabilidade de estrutura e recomendado pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

O parâmetro Gama Z é muito utilizado na avaliação da estabilidade global das estruturas, especialmente aquelas com mais de quatro pavimentos. O procedimento para o cálculo desse parâmetro é o lançamento dos esforços de vento ou desaprumo no edifício pelo projetista. Ao considerar os resultados mais desfavoráveis, este encontra

os deslocamentos de cada pavimento e, com isso, consegue obter os momentos de segunda ordem, multiplicando o peso próprio do pavimento pelo deslocamento de cada andar, e os momentos de primeira ordem, multiplicando os esforços de vento pelas alturas respectivas. A equação abaixo é utilizada para o cálculo:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{M_{2d}}{M_{1d}}} \quad (8)$$

Se os resultados do Gama Z forem inferiores a 1,10, indica que a estrutura é de nós fixos, e não é necessário efeito de segunda ordem; se o Gama Z for maior que 1,10 e menor que 1,30, significa que a estrutura é de nós móveis e devem ser considerados os efeitos de segunda ordem.

A combinação a ser utilizada para avaliar os efeitos de segunda ordem são as combinações últimas; este trabalho considerou o vento como ação principal.

2.5 Modelos de cálculo adotados

2.5.1 Modelo 1

O primeiro modelo consiste em analisar um edifício com uma laje maciça de 15 cm de espessura, utilizando a consideração simplificada dos efeitos de não linearidade física, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme as fórmulas abaixo:

- Pilares

$$(EI)_{sec} = 0,8 \cdot E_{CI} \cdot Ic_p \quad (9)$$

- Vigas

$$(EI)_{sec} = 0,4 \cdot E_{CI} \cdot Ic_p \quad (10)$$

- Lajes

$$(EI)_{sec} = 0,3 \cdot E_{CI} \cdot Ic_p \quad (11)$$

2.5.2 Modelo 2

O segundo modelo consiste em modelar o edifício com uma laje treliçada, sendo a treliça com altura de 12 cm e capa de 5 cm, num total de 17 cm de enchimentos de isopor, considerando a laje como unidirecional e colocando-a na direção da maior rigidez do edifício, com a consideração simplificada dos efeitos de não linearidade física, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme as fórmulas exibidas no item 2.5.1.

2.5.3 Modelo 3

O terceiro modelo consiste em analisar um edifício com uma laje treliçada, sendo a treliça com altura de 12 cm e capa de 5 cm, num total de 17 cm de enchimentos de isopor, considerando a laje como unidirecional e colocando-a na direção da menor rigidez do edifício, com a consideração simplificada dos efeitos de não linearidade física, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme as fórmulas exibidas no item 2.5.1.

2.5.4 Modelo 4

O quarto modelo consiste em analisar um edifício com uma laje treliçada, sendo a treliça com altura de 12 cm e capa de 5 cm, num total de 17 cm de enchimentos de isopor, considerando a laje como bidirecional, com a consideração simplificada dos efeitos de não linearidade física, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme as fórmulas exibidas no item 2.5.1.

2.5.5 Modelo 5

O quinto modelo consiste em analisar um edifício com uma laje treliçada, sendo a treliça com altura de 12 cm e capa de 5 cm, num total de 17 cm de enchimentos de isopor, considerando a laje como unidirecional, variando as direções das lajes, com a consideração simplificada dos efeitos de não linearidade física, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme as fórmulas exibidas no item 2.5.1.

2.6 Modelo numérico utilizado

Para modelar as estruturas, foram considerados, para os pilares e vigas, elementos de barras; para as lajes, foram considerados elementos de casca. O

Software possui opção de colocar duas alturas no modelo da laje, uma para considerar o peso próprio da laje e outra para considerar a rigidez à flexão do modelo.

Para considerar as rigidezes das lajes treliçadas, foram usados multiplicadores de rigidez de flexão considerando a rigidez equivalente de uma laje treliçada com a da laje maciça; na direção em que não há vigota, foi considerada apenas a rigidez da capa de concreto contribuindo. Em seu trabalho, Goulart (2008) utiliza os mesmos recursos e ensina como deve ser adotada a rigidez de cada elemento.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), o máximo deslocamento no topo do edifício deve ser de $H/1700$, e entre pavimentos a relação atendida deve ser de $H_i/850$, conforme a Figura 6, sendo que "H" é a altura total do edifício, e "H_i" é a altura entre pavimentos vizinhos.

Figura 6 – Limites de deslocamentos

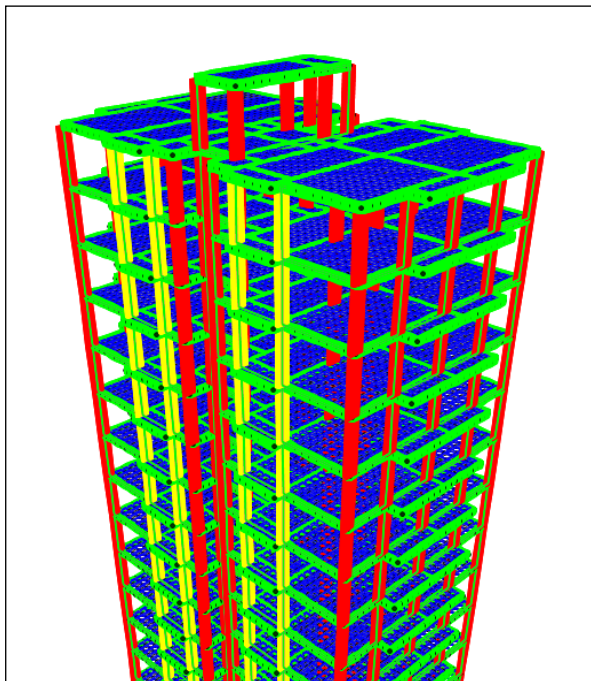
Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total Ocorrido após a construção do piso	$l/350 + \text{contraflecha}^b$ $l/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

De acordo com a NBR6118 (ABNT, 2014), para a verificação desta condição, devemos utilizar a combinação frequente.

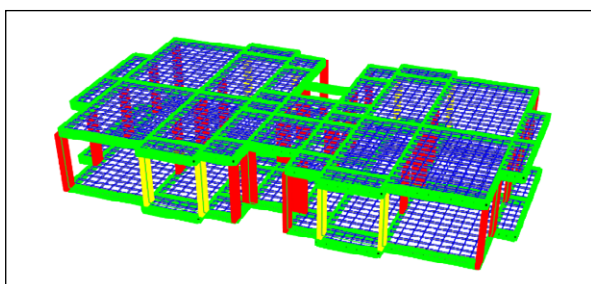
O modelo tridimensional do prédio é apresentado a seguir, visto tanto de uma forma mais ampla (Figura 7) quanto apenas de um pavimento (Figura 8).

Figura 7 – Modelo tridimensional da estrutura



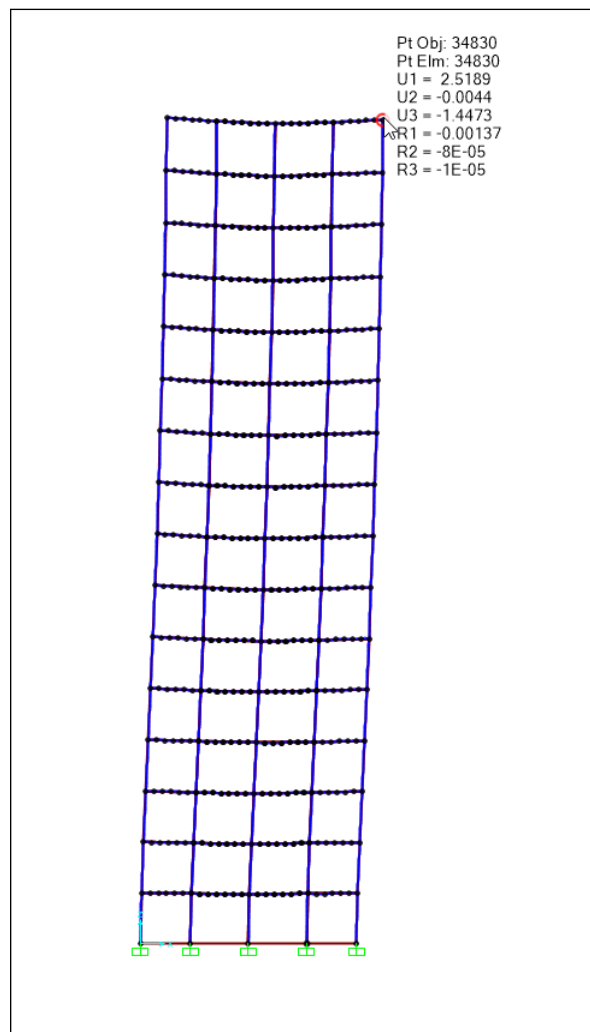
Fonte: elaboração própria

Figura 8 – Modelo tridimensional da estrutura do pavimento



Fonte: elaboração própria

Figura 9 – Deslocamento do edifício para uma combinação quase-frequente



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

3 Resultados e discussões

3.1 Verificação da deformação

Primeiramente, o sistema de vigas e pilares precisa atender à deformação limite imposta por norma. Conforme exibido na Figura 9, essa deformação (2,5189 cm) atende ao mínimo exigido por norma, que é de 2,82 cm ($H/1700$). O limite entre pavimentos de 0,36 cm ($H_i/850$) também é respeitado, visto que a deformação ocorrida foi de 0,0595 cm.

3.2 Momentos fletores de primeira e segunda ordem

Os momentos de primeira ordem são apresentados na Tabela 3. Importante destacar que os momentos de primeira ordem são idênticos para os cinco modelos.

Tabela 3 – Momentos fletores de primeira ordem

F. A. (kN)	M_{1d} (kN·m)
73,42	308,38
82,26	690,97
88,43	1114,20
93,28	1567,17
97,33	2043,98
100,83	2540,84
103,92	3055,12
106,69	3584,85
109,22	4128,51
111,54	4684,86
113,70	5252,90
115,71	5831,81
117,60	6420,85
119,38	7019,41
121,06	7626,97
60,94	4095,28
TOTAL	59966,10

Fonte: elaboração própria

Os momentos de segunda ordem são apresentados nas Tabelas 4 a 8, para cada modelo proposto.

Tabela 4 – Momentos de segunda ordem para o modelo 1

ANDAR	P+Q (KN)	DESLOC.	M_{2d} (kN·m)
cobertura	1120,00	22,53	252,34
tipo	3442,00	22,06	759,31
tipo	6182,54	21,45	1326,15
tipo	6182,54	20,68	1278,55
tipo	6182,54	19,75	1221,05
tipo	6182,54	18,66	1153,66
tipo	6182,54	17,40	1075,76
tipo	6182,54	15,98	987,97
tipo	6182,54	14,41	890,90
tipo	6182,54	12,68	783,95
tipo	6182,54	10,84	670,19
tipo	6182,54	8,87	548,39
tipo	6182,54	6,82	421,65
tipo	6182,54	4,70	290,58
tipo	6182,54	2,65	163,84
tipo	6182,54	0,87	53,79
Total:			11878,07

Fonte: elaboração própria

Tabela 5 – Momentos de segunda ordem para o modelo 2

ANDAR	P+Q (KN)	DESLOC.	M_{2d} (kN·m)
cobertura	1120,00	25,44	284,93
tipo	3276,00	24,97	818,02
tipo	6016,00	24,24	1458,28
tipo	6016,00	23,39	1407,14
tipo	6016,00	22,35	1344,58
tipo	6016,00	21,11	1269,98
tipo	6016,00	19,69	1184,55
tipo	6016,00	18,07	1087,09
tipo	6016,00	16,29	980,01
tipo	6016,00	14,33	862,09
tipo	6016,00	12,22	735,16
tipo	6016,00	9,98	600,40
tipo	6016,00	7,63	459,02
tipo	6016,00	5,23	314,64
tipo	6016,00	2,92	175,67
tipo	6016,00	0,95	57,15
Total:			13038,69

Fonte: elaboração própria

Tabela 6 – Momentos de segunda ordem para o modelo 3

ANDAR	P+Q (KN)	DESLOC.	M_{2d} (kN·m)
cobertura	1120,00	23,39	261,97
tipo	3276,00	22,92	750,86
tipo	6016,00	22,30	1341,57
tipo	6016,00	21,51	1294,04
tipo	6016,00	20,55	1236,29
tipo	6016,00	19,42	1168,31
tipo	6016,00	18,11	1089,50
tipo	6016,00	16,63	1000,46
tipo	6016,00	15,00	902,40
tipo	6016,00	13,22	795,32
tipo	6016,00	11,28	678,60
tipo	6016,00	9,22	554,68
tipo	6016,00	7,07	425,33
tipo	6016,00	4,88	293,58
tipo	6016,00	2,74	164,84
tipo	6016,00	0,90	54,14
Total:			12011,88

Fonte: elaboração própria

Tabela 7 – Momentos de segunda ordem para o modelo 4

ANDAR	P+Q (KN)	DESLOC.	M_{2d} (kN·m)
cobertura	1120,00	23,01	257,71
tipo	3357,00	22,54	756,67
tipo	6097,54	21,92	1336,58
tipo	6097,54	21,14	1289,02
tipo	6097,54	20,20	1231,70
tipo	6097,54	19,08	1163,41
tipo	6097,54	17,78	1084,14
tipo	6097,54	16,34	996,34
tipo	6097,54	14,73	898,17
tipo	6097,54	12,97	790,85
tipo	6097,54	11,08	675,61
tipo	6097,54	9,06	552,44
tipo	6097,54	6,96	424,39
tipo	6097,54	4,08	248,78
tipo	6097,54	2,70	164,63
tipo	6097,54	0,89	54,27
Total:			11924,71

Fonte: elaboração própria

Tabela 8 – Momentos de segunda ordem para o modelo 5

ANDAR	P+Q (KN)	DESLOC.	M_{2d} (kN·m)
cobertura	1120,00	24,31	272,27
tipo	3276,00	23,81	780,02
tipo	6016,00	23,15	1392,70
tipo	6016,00	22,23	1337,36
tipo	6016,00	21,33	1283,21
tipo	6016,00	20,15	1212,22
tipo	6016,00	18,79	1130,41
tipo	6016,00	17,25	1037,76
tipo	6016,00	15,55	935,49
tipo	6016,00	13,69	823,59
tipo	6016,00	11,68	702,67
tipo	6016,00	9,55	574,53
tipo	6016,00	7,31	439,77
tipo	6016,00	5,03	302,60
tipo	6016,00	2,82	169,65
tipo	6016,00	0,93	55,95
Total:			12450,20

Fonte: elaboração própria

Os resultados das análises na forma de Gama Z e os deslocamentos máximos obtidos nessa análise são demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados da análise do Gama Z e deslocamento do topo

MODELO	γ_z	DESLOC. (cm)
1	1,25	22,53
2	1,28	25,44
3	1,25	23,39
4	1,25	23,01
5	1,26	24,31

Fonte: elaboração própria

Como pode-se observar, ocorreu pequenas variações no γ_z . Dessa forma, é possível concluir que a laje trabalha como diafragma rígido.

Importante destacar que os deslocamentos apresentados no resultado são os ocorridos no topo do edifício, com as combinações últimas de serviço e considerando a não linearidade física de forma aproximada, por isso são altos.

4 Conclusões

O presente trabalho buscou apresentar uma pesquisa em que se pudesse verificar se as lajes treliçadas possuem rigidez suficiente para transferir os esforços de ventos nos elementos estruturais, considerando um prédio de 16 pavimentos. O estudo comparou os modelos variando as direções das lajes treliçadas e verificou o resultado comparando os parâmetros Gama Z da estrutura.

Nos modelos, a não linearidade da estrutura foi considerada de forma aproximada. Além disso, a norma reduz a rigidez da laje à flexão em 70%, o que, de certa forma, já diminui bastante a contribuição das lajes diante dos esforços do vento.

Os resultados finais apresentaram pequenas variações dos parâmetros Gama Z, o que demonstra que a laje funciona como diafragma rígido. Vale ressaltar, no entanto, a necessidade de que a estrutura esteja suficiente rígida para que o diafragma rígido possa trabalhar de forma eficiente.

O que se percebe nos resultados é o cuidado que se deve tomar com lajes unidirecionais, principalmente para a direção contrária das vigotas, pois estas apresentam uma rigidez bastante inferior às direcionadas no sentido da maior rigidez da laje

treliçada. Embora o parâmetro tenha variado pouco, se a estrutura já estivesse no seu limite, essa variação já faria com que a estrutura fosse considerada como de nós móveis, e o projetista já teria que considerar os efeitos de segunda ordem. Uma conclusão muito importante é que a laje bidirecional se comportou de forma idêntica à laje maciça. O que acontece é que, embora a laje treliçada tenha deslocamentos maiores no topo, ela apresenta um peso inferior, e isso reduz os momentos de segunda ordem.

REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 1988.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

AVILLA JÚNIOR, J. **Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4656?show=full>. Acesso em: 09 ago. 2021.

BUZO, H. A. G. **Estudo do comportamento de diafragma rígido de lajes maciças**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8325/1/comportamentodiafragmalajesmacicas.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado – V2**. São Paulo: PINI, 2009. 589 p.

GOULART, M. S. S. **Contribuição da rigidez à flexão das lajes para estabilidade global de edifícios**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2008-2/1467-mauricio-dos-santos-sgarbi-goulart-mestrado>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SARTORTI, A. L.; FONTES, A. C.; PINHEIRO, L. M. Análise da fase de montagem de lajes treliçadas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, n. 4, p. 623-660, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/395>. Acesso em: 09 ago. 2021.

STORCH, I. S.; DOBELIN, J. G. S.; BATALHA, L. C.; SARTORTI, A. L. Ensaios de autoportância em vigotas treliçadas sujeitas a flexão negativa. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 6, p. 1366-1395, 2017. Disponível em: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/870>. Acesso em: 09 ago. 2021.