



ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO COEFICIENTE B_2 EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS

Samuel Soares de Souza Júnior

MSc. José Francisco Anunciação Pinto

Curso: Engenharia Civil Período: 10º Área de Pesquisa: Estruturas Metálicas

Resumo: Com a verticalização das estruturas, os efeitos de segunda ordem ganharam cada vez mais relevância na análise de estabilidade da estrutura. A NBR 8800:2008, que baliza o dimensionamento estrutural de peças metálicas no Brasil, apresenta o método de amplificação dos esforços solicitantes como uma alternativa para considerar os efeitos de segunda ordem. Para isso, classifica-se, por meio do coeficiente B_2 , a estrutura em pequena, média ou grande deslocabilidade. Diante disto, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a variação do coeficiente B_2 e, consequentemente, da classificação da estrutura, mediante ao crescimento vertical da edificação. Para isso, quatro estruturas similares, mas de diferentes alturas, foram analisadas: uma com dois, uma com quatro, uma com oito e uma com dezesseis pavimentos. Os resultados obtidos demonstraram que mesmo a menor estrutura analisada foi classificada como grande deslocabilidade, o que demonstra a importância de uma análise mais sofisticada sobre os efeitos de segunda ordem na estrutura.

Palavras-chave: Efeitos de segunda ordem; Coeficiente B_2 ; Estabilidade global; NBR 8800, Estruturas metálicas.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), mais de 160 milhões de pessoas residem em áreas urbanas. Esse volume de pessoas fez com que as cidades, principalmente os grandes centros, tivessem que buscar soluções para comportar toda essa população, dentre as opções encontradas, uma das mais eficientes foi a verticalização das residências.

Entretanto, para que essa verticalização fosse possível, a engenharia civil teve que desenvolver métodos estruturais e construtivos mais eficazes e seguros. A metalurgia, por exemplo, passou por um grande processo de evolução nas últimas décadas. Segundo Pfeil e Pfeil (2009, p. 5), “Com o desenvolvimento da ciência das construções e da metalurgia, as estruturas metálicas adquiriram formas funcionais e arrojadas, constituindo-se em verdadeiros trunfos da tecnologia”. Mediante a essa evolução, o aço se tornou uma opção eficaz e segura para a construção civil, e sua utilização como elemento estrutural passou a se tornar cada vez mais frequente.

No Brasil, a norma que baliza o dimensionamento estrutural de peças metálicas é a NBR 8800 (2008) - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, que estabelece critérios básicos para projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações, realizados com perfis de aço laminado ou soldado, e ligações soldadas ou parafusadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Entretanto, para a construção de um edifício deve-se verificar outros critérios além do dimensionamento de elementos estruturais isoladamente. As edificações de grande porte são mais suscetíveis à influência de alguns fatores, como o vento, a altura, a esbeltez, a rigidez entre elementos, as ligações entre elementos, as cargas atuantes na estrutura, etc, que acabam incidindo sobre a estabilidade global da estrutura (DINIZ, LAGES e BARBOZA, 2019). Além disso, por meio da análise dos efeitos globais de 2ª ordem presentes na estrutura, e, conseqüentemente, da análise da estabilidade global, é possível verificar a diferença entre um edifício estável e um instável (FEITOSA e ALVES, 2015).

Para a análise dos efeitos de 2ª ordem, a NBR 8800(2008) classifica a edificação, mediante a sua deslocabilidade, em pequena, média e grande deslocabilidade, para estruturas de grande deslocabilidade faz-se necessário utilizar do método P-Delta. No caso de estruturas de pequena e média deslocabilidade, a norma possui um método aproximado, que possibilita a análise sem a utilização dos métodos citados anteriormente. Contudo, com o avanço tecnológicos, softwares foram desenvolvidos com capacidade de realizar essas análises com uma eficácia maior, num prazo menor (DINIZ, LAGES e BARBOZA, 2019).

Em virtude dos fatos descrito acima, esse artigo tem como objetivo comparar a classificação de múltiplas estruturas mediante ao coeficiente B_2 conforme determina a NBR 8800:2008, classificando a estrutura em pequena, média e grande deslocabilidade, e verificar a variação dessas classificações mediante ao aumento da dimensão vertical da estrutura.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

Com a verticalização das edificações, a estabilidade global ganhou mais relevância na concepção estrutural de um edifício, pois, segundo Lacerda *et al.* (2014, p. 25), ela “visa garantir a segurança da estrutura diante da perda de sua capacidade resistente, causada pelo aumento das deformações, em decorrência das ações horizontais e verticais”. A estabilidade global leva em consideração a influência de cargas horizontais, como o vento, e a influência da deformação da estrutura mediante ao carregamento em que ela está submetida. Destaca-se com isso que, quanto mais esbelta for a estrutura, mais ela estará submetida a ações do vento e ao seu próprio carregamento, portanto, maior será a importância da análise de estabilidade global.

Há diversas maneiras de avaliar esses efeitos de segunda ordem. Como, por exemplo, o processo P-Delta, onde, após a análise de primeira ordem da estrutura e a obtenção dos deslocamentos da mesma mediante aos esforços, calcula-se os esforços adicionais através do produto das cargas verticais e do deslocamento. Após a obtenção desse resultado, realiza-se novamente o processo com os valores iniciais acrescidos dos valores adicionais obtidos. Este processo é realizado até que não haja diferença significativa entre as duas últimas iterações (CUNHA, 2017).

Nos últimos anos a análise estrutural passou por um grande avanço, muito por conta do aumento da capacidade dos computadores e *softwares* que possibilitaram análises mais rigorosas. Entretanto, nem sempre é possível utilizar softwares para análise de efeitos de segunda ordem, apesar da NBR 8800 (2008) orientar que, nas estruturas onde os deslocamentos afetam significativamente os esforços internos, deve ser usada a análise-não linear da estrutura. Esta, por sua vez, pode ser feita utilizando teorias geometricamente exatas, teorias aproximadas ou adaptações a resultados da teoria de primeira ordem, além disso, métodos que considerem a influência da deformação da estrutura, das imperfeições iniciais, do comportamento das ligações e da redução de rigidez dos elementos que compõe a estrutura, também podem ser utilizados.

Para analisar os efeitos de segunda ordem de maneira simplificada sem o auxílio de um software, a NBR 8800 (2008) classifica a estrutura em três grupos, mediante a seu deslocamento, são elas: pequena deslocabilidade, média deslocabilidade e grande deslocabilidade. O que difere essas classificações é a relação entre o deslocamento lateral do andar relativo à base, obtido na análise de segunda ordem, e aquele obtido na análise de primeira ordem. Essa relação pode ser obtida de maneira aproximada pelo valor do coeficiente B_2 (ORMONDE, 2013).

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_m} * \frac{\Delta_h}{h} * \frac{\sum N_{sd}}{\sum H_{sd}}}$$

Sendo:

- $\sum N_{sd}$ - Somatório das cargas gravitacionais que atuam no andar considerado;
- $\sum H_{sd}$ - Somatório dos esforços cortantes no andar considerado;

- Δ_h - Deslocamento horizontal entre os níveis superior e inferior do andar considerado obtido da análise de primeira ordem, na estrutura original;
- h - Altura do andar, distância entre eixos das vigas;
- R_m - Coeficiente de ajuste, igual a 0,85 nas estruturas onde a resistência às ações horizontais fica a cargo das subestruturas de contraventamento constituídas por pórticos, ou igual a 1 para demais casos.

Se o valor do coeficiente B_2 for igual ou inferior a 1,1, a estrutura é classificada como pequena deslocabilidade, caso o valor for superior a 1,1 e igual ou inferior a 1,4, a estrutura é classificada como média deslocabilidade, por fim, caso o valor seja superior a 1,4, a estrutura é classificada como grande deslocabilidade. Essas informações foram sintetizadas no quadro 1.

QUADRO 1 – Classificação de estrutura mediante ao coeficiente B_2

$B_2 \leq 1,1$	Pequena deslocabilidade
$1,1 < B_2 \leq 1,4$	Média deslocabilidade
$1,4 < B_2$	Grande deslocabilidade

Fonte: ABNT, NBR 8800 (2008)

Para estruturas de pequena deslocabilidade, a NBR 8800 (2008) permite desconsiderar as imperfeições do material e, no caso em que as forças solicitantes de cálculo que atuam nas barras que contribuem para a estabilidade lateral da estrutura não sejam superiores a 50% da força axial de escoamento destas barras, pode-se desconsiderar os efeitos de segunda ordem. Porém, caso esta condição não seja atendida, os efeitos de segunda ordem devem ser considerados. Para isto, amplifica-se os momentos fletores do cálculo de primeira ordem por meio do coeficiente B_1 (ROCHA, 2011).

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{sd1}}{N_e}}$$

Sendo:

- N_e - Força axial de flambagem elástica, considerando o comprimento real da barra e, caso necessário, a imperfeição inicial do material;
- N_{sd1} - Força axial de compressão solicitante de cálculo na barra analisada, considerando a análise de primeira ordem (figura 1);

- C_m - Coeficiente igual a:

- Caso não haja forças transversais entre as extremidades da barra analisada no plano de flexão:

$$C_m = 0,60 - 0,40 * \frac{M_1}{M_2}$$

Onde $\frac{M_1}{M_2}$ é a relação entre o menor e maior momento fletor nas extremidades da barra, sendo positivo quando os momentos realizarem uma curvatura reversa e negativo quando realizarem uma curvatura simples.

- Caso haja forças transversais entre as extremidades da barra no plano de flexão, temos $C_m = 1$.

Nas estruturas classificadas com média deslocabilidade, as imperfeições dos materiais devem ser consideradas, reduzindo a rigidez à flexão e a rigidez axial das barras para 80% dos valores originais. Além disso, as imperfeições geométricas iniciais devem ser consideradas, isto pode ser feito através da consideração inicial de um deslocamento horizontal relativo entre os níveis inferior e superior de $h/333$, sendo h a altura do pavimento. Porém, essas imperfeições geométricas também podem ser consideradas através da aplicação da força nocional equivalente a 0,3% do valor referente às cargas gravitacionais aplicadas nos pilares.

O método da amplificação dos esforços solicitantes apresentado pela NBR 8800 (2008), pode ser utilizado para analisar os efeitos de segunda ordem na estrutura, visto que, visto que, sendo a classificação tida como média deslocabilidade, é necessário que os esforços solicitantes considerem os efeitos globais e locais de segunda ordem. Esse método determina o momento fletor e a força axial solicitante de cálculo, M_{Sd} e N_{Sd} , em cada pavimento, através da seguinte equação:

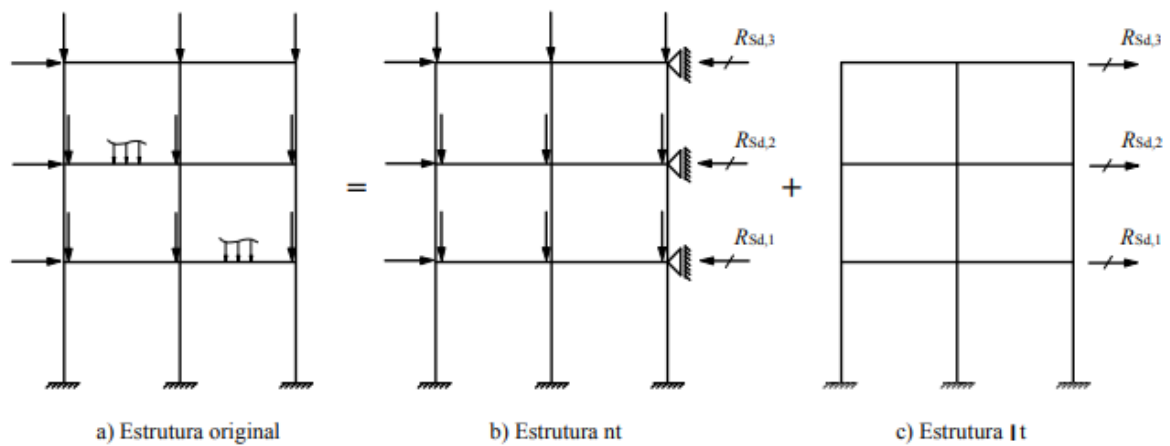
$$M_{Sd} = B_1 * M_{nt} + B_2 * M_{lt}$$

$$N_{Sd} = N_{nt} + B_2 * N_{lt}$$

Sendo:

- M_{nt} e N_{nt} - respectivamente, o momento fletor e a força axial solicitante de cálculo, obtidos em análise elástica de primeira ordem, onde os nós da estrutura encontram-se impedidos de se deslocar horizontalmente (por meio de apoios fictícios em cada andar, conforme figura 1);
- M_{lt} e N_{lt} - respectivamente, o momento fletor e a força axial solicitante de cálculo, obtidos em análise elástica de primeira ordem, referente aos efeitos dos deslocamentos horizontais dos nós da estrutura.

FIGURA 2 - Modelo de análise das estruturas



Fonte: ABNT, NBR 8800 (2008)

Para as estruturas classificadas como grande deslocabilidade, a NBR 8800 (2008) preconiza que seja feita uma análise rigorosa, considerando a não-linearidade geométrica e de material. Entretanto, ela permite que a análise apresentada para estruturas de média deslocabilidade seja usada para as de grande deslocabilidade, desde que os efeitos das imperfeições geométricas iniciais sejam adicionados às combinações últimas de ações que incluam as ações provindas do vento.

QUADRO 2 – Considerações a serem realizadas após a classificação da estrutura

Pequena deslocabilidade	- Desconsidera-se as imperfeições do material; - Amplifica-se os momentos fletores de cálculo por meio do coeficiente B_1.
Média deslocabilidade	- A rigidez à flexão e a rigidez axial das barras são reduzidas para 80% dos valores originais; - Aplicação de um deslocamento inicial de $h/333$ (sendo h a altura do pavimento), porém, essas imperfeições geométricas também

	podem ser consideradas através da aplicação da força nocional equivalente a 0,3% do valor referente às cargas gravitacionais aplicadas nos pilares; • Amplifica-se os momentos fletores de cálculo por meio do coeficiente B_1; • Amplifica-se os momentos fletores e a carga axial provenientes da força nocional por meio do coeficiente B_2.
Grande deslocabilidade	• Para as estruturas classificadas como grande deslocabilidade, a NBR 8800 (2008) preconiza que seja feita uma análise rigorosa, considerando a não-linearidade geométrica e de material;

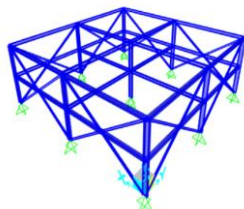
Fonte: ABNT, NBR 8800 (2008)

2.2. Metodologia

Este artigo buscou comparar o coeficiente B_2 , para múltiplas estruturas, conforme a NBR 8800 (2008), classificando-as em pequena, média e grande deslocabilidade. Para isto, foram criadas quatro modelos estruturais, que divergem apenas na quantidade de pavimentos, sendo:

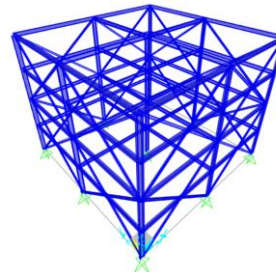
- Modelo 1, composto por dois pavimentos (figura 2);
- Modelo 2, composto por quatro pavimentos (figura 3);
- Modelo 3, composto por oito pavimentos (figura 4);
- Modelo 4, composto por dezesseis pavimentos (figura 5).

FIGURA 2 - Modelo composto
por dois pavimentos



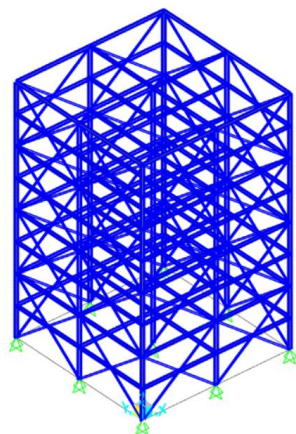
Fonte: Os autores

FIGURA 3 - Modelo composto
por quatro pavimentos



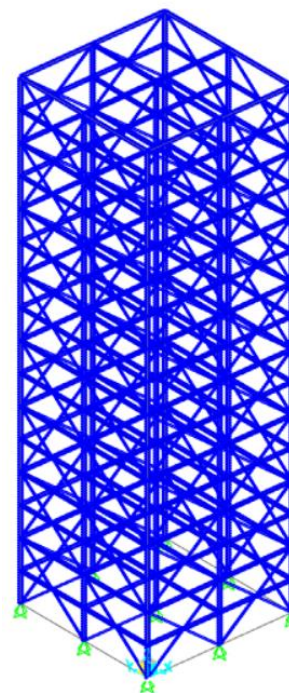
Fonte: Os autores

FIGURA 4 - Modelo composto
por oito pavimentos



Fonte: Os autores

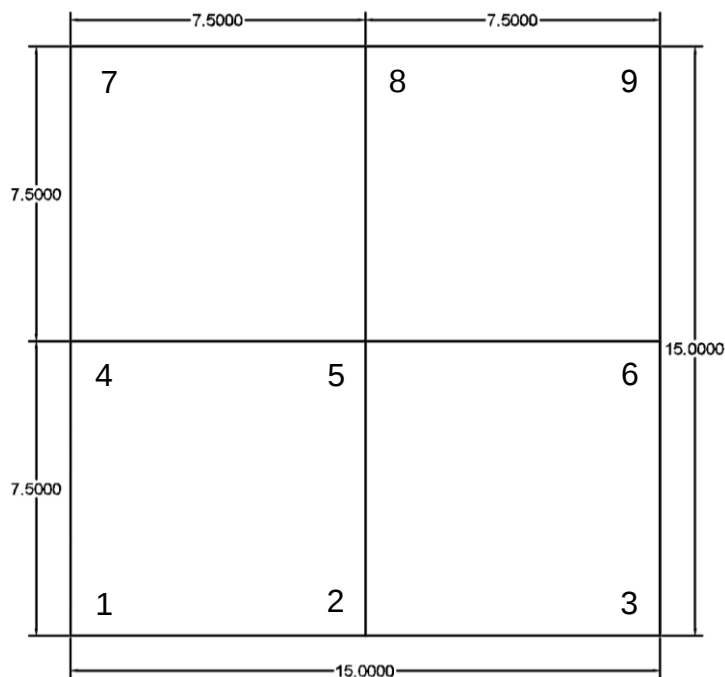
FIGURA 5 - Modelo composto
por dezesseis pavimentos



Fonte: Os autores

Os modelos possuem uma mesma planta baixa, sendo composta por quatro lajes quadradas com dimensão lateral de 7,5 metros, que formam um plano quadrado com dimensão lateral de 15 metros, além disso, os pilares foram enumerados visando facilitar a identificação dos mesmos, conforme ilustrada na figura 6.

FIGURA 6 - Planta baixa dos modelos analisados



Fonte: Os autores

Os carregamentos adotados na estrutura foram os seguintes:

- 2,5 kN/m² conforme a tabela 10 da NBR 6120 (2019), referente a salas de uso geral e sanitários para edifícios comerciais, corporativos e de escritórios;
- 1,0 kN/m² conforme tabela 11 da NBR 6120 (2019), referente a carga variável adicional para paredes divisórias sem posição definida em projeto;
- 1,0 kN/m² conforme a tabela 10 da NBR 6120 (2019), referente a coberturas com acesso apenas para manutenção ou inspeção;

Destaca-se que, para a análise destas estruturas, todas foram classificadas como “Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas”.

Como os modelos analisados possuem múltiplos pavimentos e mesma carga accidental incidindo sobre eles, pode-se considerar uma redução da carga variável conforme o item 6.12 da NBR 6120 (2019). Portanto, a carga accidental que incide nos modelos estruturais ficam conforme as figuras 5 (Modelo 1 – dois pavimentos), 6 (Modelo 2 – quatro pavimentos), 7 (Modelo 3 – oito pavimentos) e 8 (Modelo 4 – dezesseis pavimentos).

FIGURA 7 - Redução da carga accidental
no modelo 1 – dois pavimentos

qk2	
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1

Fonte: Os autores

FIGURA 8 - Redução da carga accidental
no modelo 2 – quatro pavimentos

qk2	
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
0,8 * qk1	0,8 * qk1

Fonte: Os autores

FIGURA 9 - Redução da carga accidental
no modelo 3 – oito pavimentos

qk2	
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
0,8 * qk1	0,8 * qk1
0,6 * qk1	0,6 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1

Fonte: Os autores

FIGURA 10 - Redução da carga accidental
no modelo 4 – dezesseis pavimentos

qk2	
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
1,0 * qk1	1,0 * qk1
0,8 * qk1	0,8 * qk1
0,6 * qk1	0,6 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1
0,4 * qk1	0,4 * qk1

Fonte: Os autores

Considerou-se também, a incidência do vento na estrutura, conforme a NBR 6123 (1988), situando, para fins de análise, os modelos na Avenida Centenário Bairro, s/n - Bom Pastor, Manhuaçu - MG, 36902-272. Os valores, categorias e classe, considerados para calcular a pressão exercida pelo vento na estrutura, estão expostos na tabela 1. Os valores obtidos foram expostos nas tabelas 2 e 3, a primeira para o modelo 1 e 2, segunda para os modelos 3 e 4.

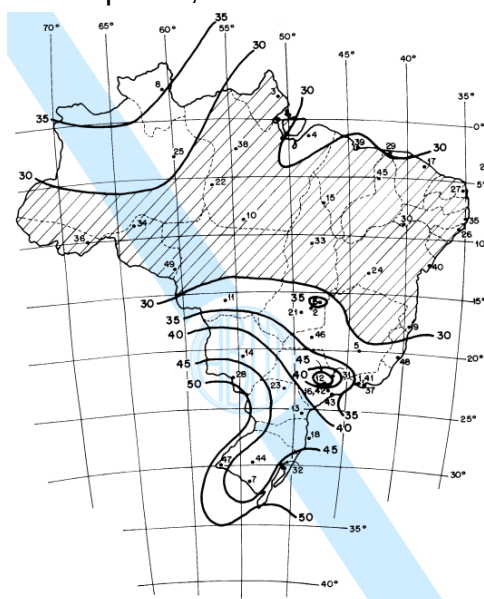
TABELA 1 - Valores, categorias e classes considerados na análise da influência do vento na estrutura

Modelo	Quantidade de pavimentos	Vo (m/s)	S1	S2		S3
				Categoria	Classe	
1	2	33	1	IV	A	1
2	4	33	1	IV	A	1
3	8	33	1	IV	B	1
4	16	33	1	IV	B	1

Fonte: Os autores

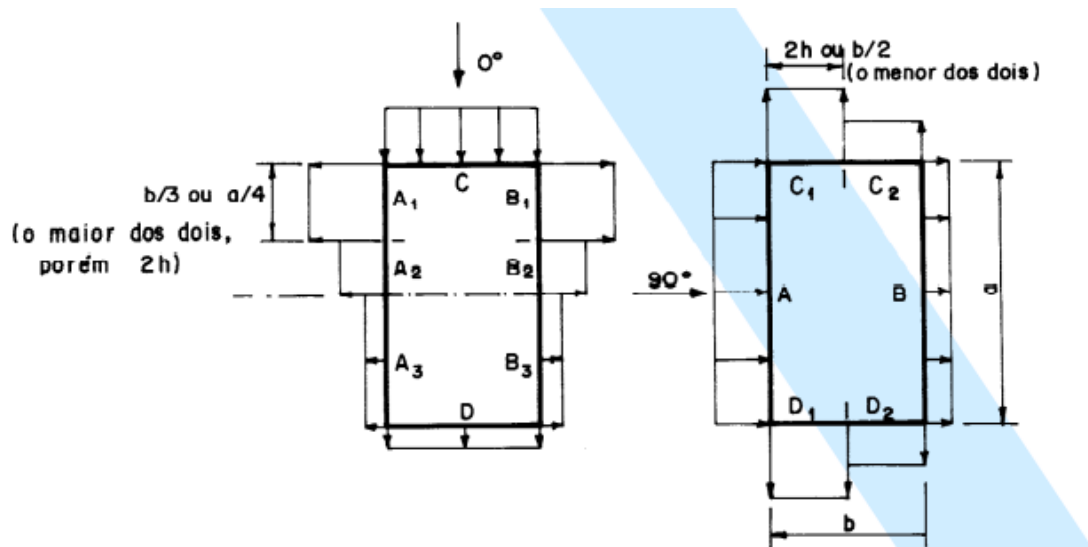
Onde, o Vo é a velocidade básica do vento, que varia conforme a posição da edificação no mapa, conforme figura 11. Já o fator S1 varia conforme a posição da edificação em meio ao relevo que se encontra. O fator S2 leva em conta a rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento mediante à altura acima do terreno e das dimensões da edificação, por isso houve uma mudança de classe entre as duas primeiras estruturas (classificadas como A) e as duas últimas (classificadas como B). Por fim, o fator S3 baseia-se em conceitos estatísticos, considerando a vida útil da estrutura e o grau de segurança necessário para a edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

FIGURA 11 – Isopletas, conforme NBR 6123 (1988)



Fonte: ABNT, NBR 6123 (1988)

FIGURA 12 - Posição dos coeficientes de pressão



Fonte: ABNT, NBR 6123 (1988)

TABELA 2 - Pressão do vento nos modelos 1 e 2

		W 0° (kN/m²)					W 90°(kN/m²)			
		A1 e B1	A2 e B2	C	D	A3 e B3 = A2	A	B	C1 e D1	C2 e D2
Pavimento	Cota	-0,9	-0,5	0,7	-0,5		0,7	-0,5	-0,9	-0,5
1	3	-0,33	-0,18	0,26	-0,18	-0,18	0,26	-0,18	-0,33	-0,18
2	6	-0,39	-0,22	0,31	-0,22	-0,22	0,31	-0,22	-0,39	-0,22
3	9	-0,45	-0,25	0,35	-0,25	-0,25	0,35	-0,25	-0,45	-0,25
4	12	-0,51	-0,28	0,40	-0,28	-0,28	0,40	-0,28	-0,51	-0,28

Fonte: Os autores

TABELA 3 - Pressão do vento nos modelos 3 e 4

		W 0° (kN/m²)					W 90° (kN/m²)			
		A1 e B1	A2 e B2	C	D	A3 e B3 = A2	A	B	C1 e D1	C2 e D2
Pavimento	Cota	-1	-0,6	0,8	-0,6		0,8	-0,6	-1	-0,6
1	3	-0,34	-0,21	0,27	-0,21	-0,21	0,27	-0,21	-0,34	-0,21
2	6	-0,41	-0,24	0,33	-0,24	-0,24	0,33	-0,24	-0,41	-0,24
3	9	-0,47	-0,28	0,38	-0,28	-0,28	0,38	-0,28	-0,47	-0,28
4	12	-0,53	-0,32	0,43	-0,32	-0,32	0,43	-0,32	-0,53	-0,32
5	15	-0,58	-0,35	0,46	-0,35	-0,35	0,46	-0,35	-0,58	-0,35
6	18	-0,62	-0,37	0,50	-0,37	-0,37	0,50	-0,37	-0,62	-0,37
7	21	-0,66	-0,40	0,53	-0,40	-0,40	0,53	-0,40	-0,66	-0,40
8	24	-0,69	-0,42	0,56	-0,42	-0,42	0,56	-0,42	-0,69	-0,42
9	27	-0,74	-0,44	0,59	-0,44	-0,44	0,59	-0,44	-0,74	-0,44
10	30	-0,76	-0,46	0,61	-0,46	-0,46	0,61	-0,46	-0,76	-0,46
11	33	-0,79	-0,47	0,63	-0,47	-0,47	0,63	-0,47	-0,79	-0,47
12	36	-0,82	-0,49	0,65	-0,49	-0,49	0,65	-0,49	-0,82	-0,49
13	39	-0,84	-0,50	0,67	-0,50	-0,50	0,67	-0,50	-0,84	-0,50
14	42	-0,86	-0,52	0,69	-0,52	-0,52	0,69	-0,52	-0,86	-0,52
15	45	-0,88	-0,53	0,71	-0,53	-0,53	0,71	-0,53	-0,88	-0,53
16	48	-0,91	-0,54	0,72	-0,54	-0,54	0,72	-0,54	-0,91	-0,54

Fonte: Os autores

O perfil utilizado nos pilares foi o W 360 x 51, já para as vigas utilizou-se o W310 x 38,7, além disso, deve-se destacar que estas foram consideradas vigas-mistas. Os contraventamentos foram compostos por perfis W 150 x 18. Além disso, considerou-se uma laje de 25 cm de espessura que contribuíam como diafragmas rígidos.

2.3. Discussão de Resultados

Foram obtidos os valores do coeficiente B_2 para os pilares 1, 5 e 9, escolhidos aleatoriamente entre os nove analisados, classificando-os em pequena ($B_2 \leq 1,1$),

média ($1,1 < B_2 \leq 1,4$) e grande deslocabilidade ($1,4 < B_2$), conforme apresentados na tabela 4.

TABELA 4 - Classificação quanto a deslocabilidade, conforme a NBR 8800 (2008)

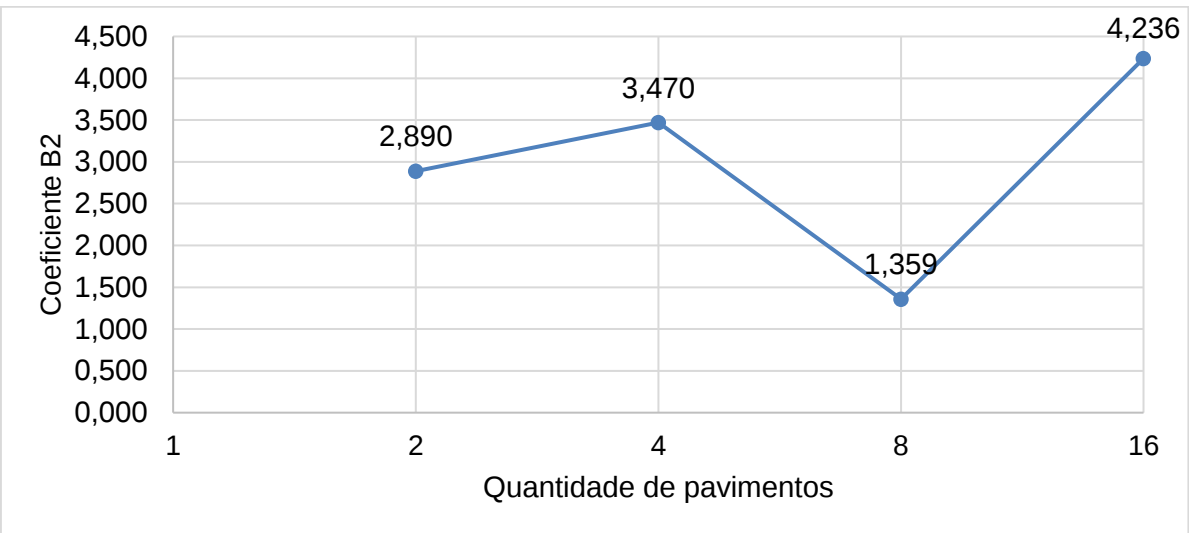
Modelo	Quantidade de pavimentos	Pilar 1	Pilar 5	Pilar 9
1	2	Grande	Pequena	Grande
2	4	Grande	Pequena	Grande
3	8	Média	Pequena	Grande
4	16	Grande	Pequena	Grande

Fonte: Os autores.

O pilar 1 foi classificado como estrutura de grande deslocabilidade desde a estrutura com dois pavimentos, ou seja, desde a menor estrutura analisada já se faz necessário uma análise mais rigorosa e sofisticada sobre os efeitos de segunda ordem. Em contrapartida, na estrutura com oito pavimentos a classificação do pilar 1 foi como estrutura de média deslocabilidade, porém, deve-se destacar que os modelos 1 e 2 divergem dos modelos 3 e 4 no fator S2, que é utilizado para encontrar a pressão dinâmica do vento na estrutura.

O gráfico 1 mostra a evolução do coeficiente B_2 no pilar 1, de acordo com o acréscimo de pavimentos na estrutura.

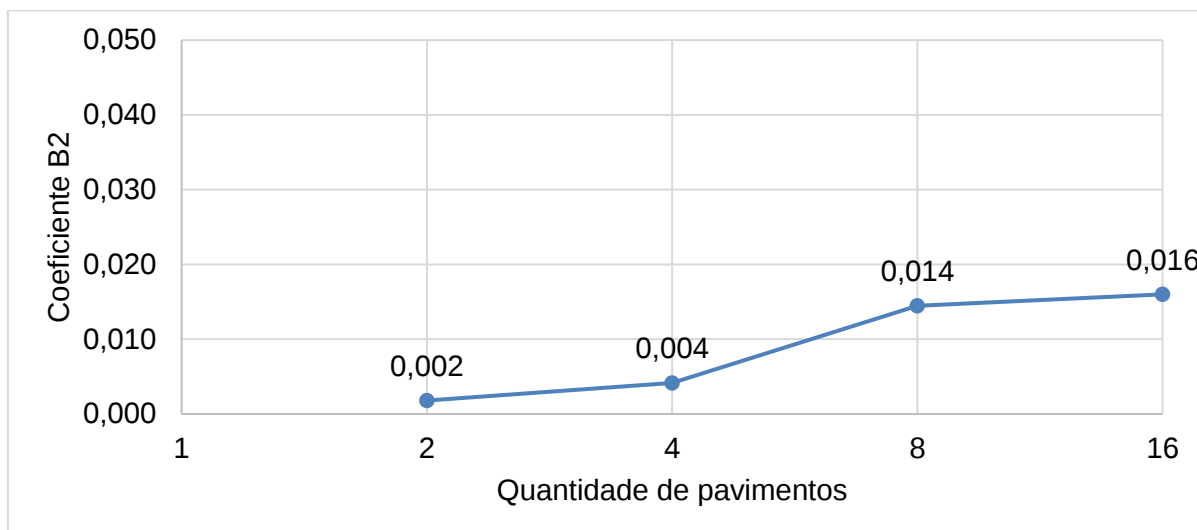
GRÁFICO 1 - Coeficiente B_2 no pilar 1



Fonte: Os autores.

O pilar 5 foi classificado como estrutura de pequena deslocabilidade em todas as estruturas analisadas, apresentando valores inferiores a 0,02 para o coeficiente B_2 . Este pilar, diferentemente do pilar 1, não mostrou uma variação significativa entre os valores obtidos na estrutura de quatro e oito pavimentos. O gráfico 2 demonstra a evolução do coeficiente B_2 no pilar 5.

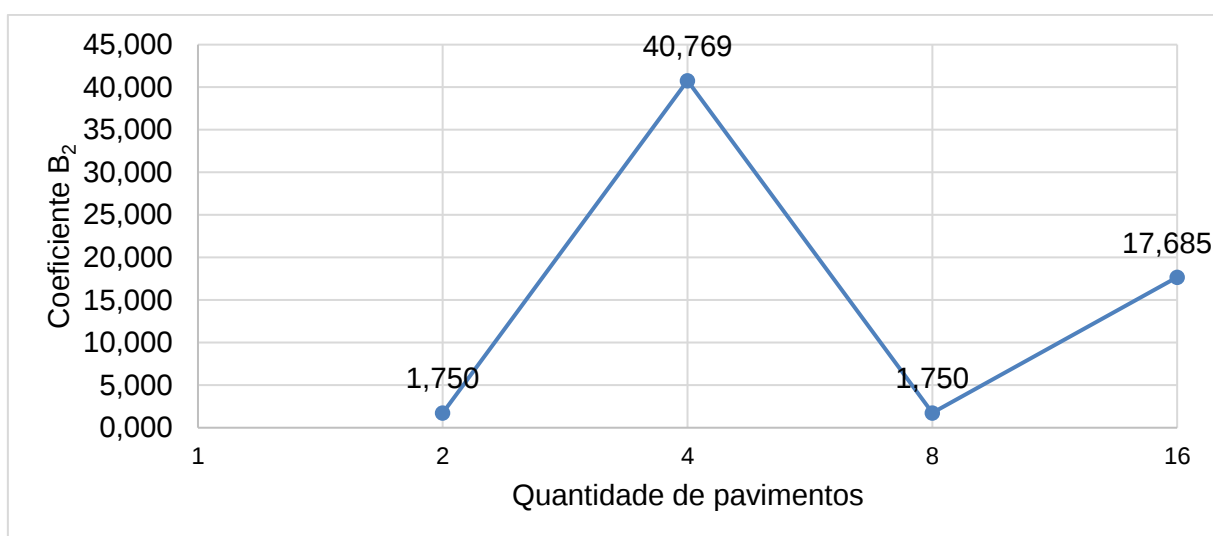
GRÁFICO 2 - Coeficiente B_2 no pilar 5



Fonte: Os autores.

Já o pilar 9 foi classificado em todos os modelos como estrutura de grande deslocabilidade, e apresentou, exceto para a estrutura de dois pavimentos, os maiores valores para o coeficiente B_2 . Assim como no pilar 1, o valor referente ao coeficiente B_2 na estrutura de oito pavimentos foi menor que o encontrado na estrutura de quatro pavimentos, entretanto, diferentemente do pilar 1, essa redução não foi suficiente para reclassificar a estrutura. O gráfico 3 apresenta os valores do coeficiente B_2 no pilar 9.

GRÁFICO 3 - Coeficiente B_2 no pilar 9



Fonte: Os autores.

Os valores obtidos evidenciam a importância de uma análise mais sofisticada dos efeitos de segunda ordem, mesmo em estruturas menores, visto que, a menor estrutura proposta para análise, foi classificada como estrutura de grande deslocabilidade, e, mediante a isso, a NBR 8800:2008 preconiza a necessidade desta análise mais apurada sobre a estrutura.

3. CONCLUSÃO

Com a crescente verticalização das estruturas, a análise dos efeitos de segunda ordem e, conseqüentemente, da estabilidade global da estrutura, ganharam cada vez mais importância na análise estrutural, sendo possível, por meio delas, avaliar a segurança de uma edificação.

Os efeitos de segunda ordem, podem ser analisados de diversas maneiras. A NBR 8800:2008, que rege o dimensionamento estrutural de peças metálicas no Brasil, apresenta o método de amplificação dos esforços solicitantes, que classifica a estrutura em pequena, média e grande deslocabilidade, mediante ao coeficiente B_2 .

Para analisar esse método de amplificação dos esforços solicitantes, quatro estruturas similares foram analisadas e classificadas conforme a variação do coeficiente B_2 .

Após a análise das estruturas, os resultados obtidos para o coeficiente B_2 demonstraram a importância da análise dos efeitos de segunda ordem nas estruturas independente da sua dimensão, visto que, a menor estrutura analisada foi classificada como grande deslocabilidade, mediante ao cálculo do coeficiente B_2 , ou seja, a menor estrutura analisada já necessita de uma análise dos efeitos de segunda ordem mais sofisticada.

Diante disto, destaca-se a importância de estudos sobre a influência dos efeitos de segunda ordem na estrutura. Visando, desta forma, obter maiores conhecimentos sobre o comportamento da estrutura sob a influência de múltiplos esforços, possibilitando um dimensionamento da estrutura mais eficaz e seguro.

Por fim, destaca-se que, durante o desenvolvimento deste trabalho, novas hipóteses surgiram, como a utilização do coeficiente B_2 na análise da eficácia de contraventamentos em estruturas metálicas, a utilização do método simplificado da NBR 8800:2008 para a análise dos efeitos de segunda ordem em estruturas de concreto e a utilização do método simplificado da NBR 8800:2008 para estruturas classificadas como grande deslocabilidade, estas hipóteses ficam como sugestões para estudos futuros.

4. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: AÇÕES PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES**. Rio de Janeiro. 2019.

CUNHA, A. D. M. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O COEFICIENTE GAMA-Z E O PROCESSO P-DELTA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. BELO HORIZONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - ESCOLA DE ENGENHARIA, 2017.

DINIZ, C. W. S.; LAGES, E. N.; BARBOZA, A. S. R. Estabilidade global de sistemas estruturais de edifícios considerando a ligação viga-pilar parede. **REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS**, v. 12, p. 705-737, Agosto 2019. ISSN 4.

FEITOSA, L. A.; ALVES, E. C. Estudo da estabilidade global de edifício altos com lajes protendidas. **REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS**, v. 8, p. 196-224, Abril 2015. ISSN 2.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CENSO DEMOGRAFICO. **CENSO 2010 IBGE**, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=10503&t=destaques>>. Acesso em: 22 agosto 2021.

LACERDA, M. M. S. et al. AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO. **REEC - REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA CIVIL**, v. 9, p. 24-37, 2014. ISSN 2.

ORMONDE, P. C. **Software Educacional Livre para análise não linear de pórticos planos em estruturas metálicas**. São Carlos: UFSCar, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4687>>. Acesso em: 20 set. 2021.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ROCHA, J. B. D. **COMPARATIVO PARA UM PRÉDIO EM AÇO, DO CÁLCULO DA ESTABILIDADE GLOBAL, CONFORME AS NBR 8800 (1986), NBR 8800 (2008) E NBR (2003)**. ALEGRETE: UNIPAMPA, 2011. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/1621>>. Acesso em: 20 set. 2021.