

ESTRUTURAS DE PORTE PEQUENO EM CONCRETO ARMADO: VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM A RIGIDEZ DA ESTRUTURA

LOW-RISE STRUCTURES IN REINFORCED CONCRETE: VARIABLES THAT INFLUENCE THE STIFFNESS OF THE STRUCTURE

Luan Matheus Moreira¹, Carlos Humberto Martins²

¹Mestre em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – IFMS, Aquidauana, MS. E-mail: moreirm19@gmail.com

²Doutor em Engenharia de Estruturas, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR. E-mail: chmartins2007@gmail.com.

RESUMO

Nas pesquisas sobre estabilidade global têm-se utilizado apenas os resultados da Não Linearidade Geométrica (NLG) para aferir o impacto que determinadas variáveis geram na rigidez das estruturas. Porém, sabe-se que a NLG é sensível à Não Linearidade Física (NLF), ou seja, se forem adotadas duas metodologias de análise da NLF em determinada estrutura, a NLG poderá apresentar dois resultados diferentes. Assim, o objetivo deste trabalho é de investigar o comportamento da rigidez de estruturas de pequeno porte em concreto armado, isto é: vigas e pilares atuando em conjunto, sob influência das seguintes variáveis: resistência característica do concreto, dimensões dos elementos estruturais, dimensões das plantas de fôrma e velocidade básica do vento, utilizando-se de uma metodologia em que a NLF é corrigida de acordo com as características de cada exemplo idealizado. Para isso utilizou-se o *software* CAD/TQS para realizar simulações em diversos exemplos com diferentes características. Os resultados demonstraram que as variações na resistência característica do concreto, nas dimensões dos elementos estruturais e nas dimensões das plantas de fôrma são de considerável influência na determinação dos valores de rigidez das vigas e dos pilares, enquanto que a variação da velocidade básica do vento é de pequena influência.

Palavras-chave: Estabilidade global, rigidez da estrutura, concreto armado.

ABSTRACT

In the studies on global stability, only the results of the Geometric Non-Linearity (GNL) have been used to gauge the impact that certain variables generate on the stiffness of the structures. However, it is known that GNL is sensitive to Material Non-Linearity (MNL), that is, if two MNL methodologies are adopted in a given structure, GNL may present two different results. Thus, the objective of this paper is to investigate the behavior of the stiffness on the low-rise structures in reinforced concrete, *i. e.*: beams and columns acting together, under the influence of the following variables: characteristic strength of concrete, dimensions of the structural elements, dimensions of the shape plants and basic speed of the wind, using a methodology in which the MNL is corrected according to the characteristics of each idealized example. Then, the CAD/TQS software was used to perform simulations in several examples with different characteristics. The results showed that the characteristic strength of concrete, dimensions of the structural elements and dimensions of the shape plants are great influence in the determination of the stiffness values of the beams and columns, whereas the variation of the basic speed of the wind is a little influence.

Keywords: Global stability, structure stiffness, reinforced concrete.

1 – INTRODUÇÃO

A apuração da estabilidade global nas edificações visa garantir a segurança quanto ao estado limite último de instabilidade, que representa o extravio da capacidade resistente da estrutura, devido ao aumento dos deslocamentos.

Devido ao seu caráter de integração dos elementos estruturais, a análise da estabilidade global pode tornar-se sensível a determinados fatores adotados para a estrutura. Quanto a esta característica, observa-se que alguns fatores têm influência de maior magnitude, exemplos: ações atuantes na estrutura, interação solo estrutura, rigidez dos elementos estruturais.

Martins (2001) verificou a influência da rigidez transversal de lajes maciças em estruturas com núcleos rígidos e constatou que, quando considerada, proporciona à estrutura valores reduzidos de esforços globais de segunda

ordem em comparação com a não consideração da rigidez transversal.

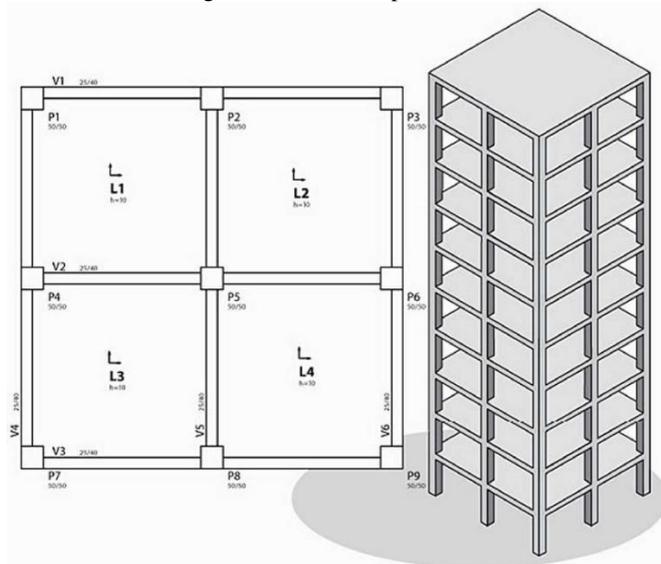
Goulart e Shehata (2008) também constataram uma redução nos esforços globais de segunda ordem, considerando a rigidez à flexão de lajes maciças em edifícios com 27,84; 45,00; e 57,04 m de altura.

No entanto, Kimura (2007) afirma que para estruturas usuais, a influência das lajes é de menor expressão em relação à importância que as vigas e os pilares têm em relação à estabilidade global. Para isso, idealizou uma edificação hipotética com as seguintes características, conforme ilustrado na Figura 1:

- Pavimentos tipo com nove repetições e uma cobertura;
- Estrutura simétrica;
- Nove pilares contínuos de 50 por 50 cm;
- Seis vigas de 25 por 40 cm;

- Quatro lajes em cada pavimento com espessura de 10 cm;
- Quatro ventos ortogonais: 0°, 90°, 180° e 270°, com mesma magnitude.

Figura 1 – Edifício hipotético

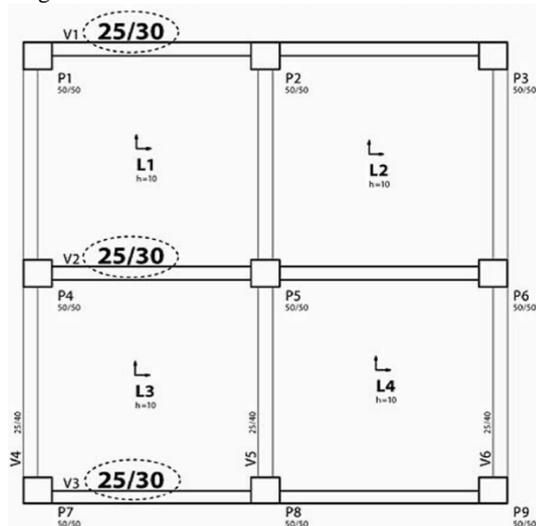


Fonte: Kimura (2007).

Na avaliação da estabilidade global pelo coeficiente γ_z obteve-se o valor de 1,063 considerando as quatro direções de aplicação das ações de vento.

Alterando-se as dimensões das vigas V_1, V_2 e V_3 para 25 por 30 cm foram obtidos novos valores para a estabilidade global, $\gamma_z = 1,109$, nas direções do vento em que esta redução de inércia contribui para a estabilidade da estrutura, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Planta de fôrmas com dimensões alteradas



Fonte: Kimura (2007).

Verificou-se que uma simples alteração nas dimensões em uma direção de um conjunto de vigas pode acarretar em mudanças significativas na estabilidade global de um edifício (KIMURA, 2007).

As pesquisas nesta área são direcionadas aos edifícios de grande porte, devido à complexidade destes e, conseqüentemente, estuda-se as variáveis que, a priori, aparentam ser relevantes. Desta forma, o estudo da estabilidade global em edificações de pequeno porte apresenta-se como uma lacuna no campo acadêmico e torna-se necessária para o desenvolvimento de metodologias particularizadas a estas situações.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi investigar o comportamento da rigidez de estruturas de pequeno porte em concreto armado, isto é: vigas e pilares atuando em conjunto, sob influência das seguintes variáveis: resistência característica do concreto, dimensões dos elementos estruturais, dimensões das plantas de fôrma e velocidade básica do vento. Para atingir o objetivo utilizou-se de uma metodologia em que a Não Linearidade Física (NLF) é corrigida de acordo com as características de cada exemplo idealizado.

1.2 Justificativa

Nas pesquisas sobre estabilidade global têm-se utilizado apenas os resultados da Não Linearidade Geométrica (NLG) para aferir o impacto que determinadas variáveis geram na rigidez das estruturas. Porém, sabe-se que a NLG é sensível à NLF, ou seja, se forem adotadas duas metodologias de análise da NLF em determinada estrutura, a NLG poderá apresentar dois resultados diferentes.

Buscou-se criar um método de análise da rigidez da estrutura, que leve em consideração as alterações provocadas na NLF da estrutura, quando esta for submetida a alguma mudança em determinada variável.

Dessa forma, têm-se por intuito realizar uma análise mais apurada do comportamento da rigidez de edificações de pequeno porte em concreto armado.

2 – MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Utilizou-se o *software* CAD/TQS, versão 18.11.53, disponível no Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo fato de atender as prescrições da norma ABNT NBR 6118:2014 e dispor de métodos de análise avançados e automatizados.

2.1 Caracterização dos exemplos estudados

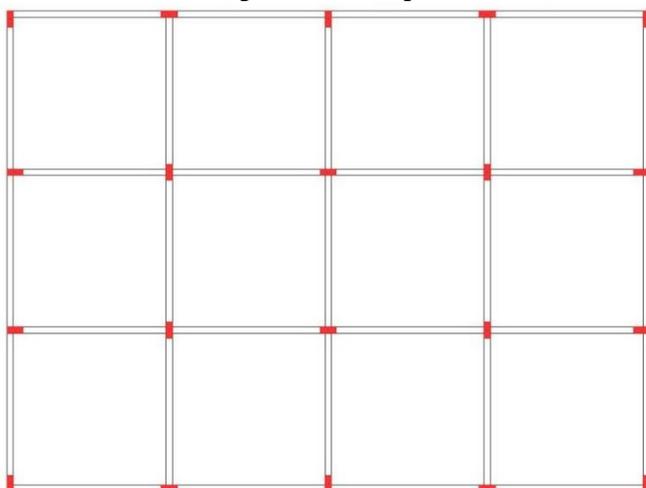
Os exemplos estudados são referentes a edificações com um, dois e três pavimentos. A seguir são descritas algumas características fixas adotadas em todos os exemplos:

- Para a classificação da agressividade ambiental, escolheu-se a Classe II;
- Foi considerada a presença de paredes em alvenaria sobre todas as vigas em todos os pavimentos; nos pavimentos de cobertura, a altura das paredes foi de 1 m, sendo compostas por blocos de concreto com 14 e 19 cm de largura para as vigas com 15 e 20 cm de largura, respectivamente;

- As lajes do pavimento tipo detêm 12 cm de espessura com 2,0 e 3,0 kN/m² de carga permanente e acidental, respectivamente, enquanto que, as lajes do pavimento de cobertura detêm 12 cm de espessura com 3,0 kN/m² de carga permanente e acidental;
- Considerou-se a ação do vento e do desaprumo atuando nas quatro direções: 0°, 90°, 180° e 270°, resultando em 83 combinações de ações para análise.

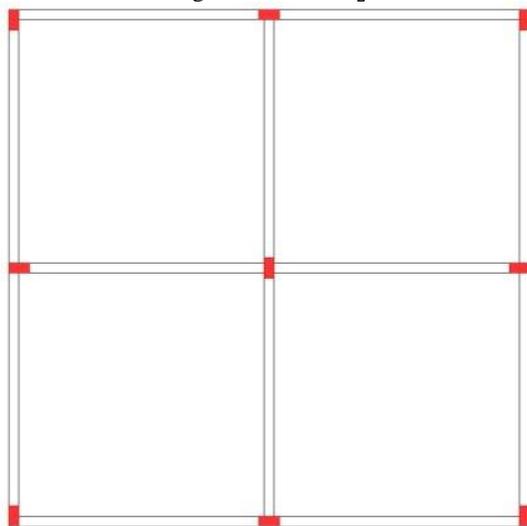
Para a análise de cada porte de edificação foram concebidos 16 exemplos que se baseiam em diferentes tipos de plantas de fôrmas estruturais, configurações estruturais, velocidades básicas do vento e resistências característica do concreto. Nas Figuras 3 e 4 e nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados esses parâmetros.

Figura 3 – Planta T₁



Fonte: Os Autores (2017).

Figura 4 – Planta T₂



Fonte: Os Autores (2017).

Tabela 1 – Tipos de configurações estruturais

Nomenclatura	Vigas (cm x cm)	Pilares (cm x cm)	Altura piso a piso (m)	Vão entre vigas (m)
E	20 x 50	20 x 50	4	5
F	20 x 40	20 x 40	3	4
G	20 x 40	20 x 40	4	5
H	15 x 40	15 x 40	3	4
I	20 x 40	20 x 35	4	5
J	15 x 30	15 x 25	3	4

Fonte: O Autores (2017).

Tabela 2 – Tipos de velocidade básica do vento (V₀)

Nomenclatura	Velocidade básica do vento (m/s)
v ₁	30
v ₂	50

Fonte: O Autores (2017).

Tabela 3 – Tipos de resistência característica do concreto (f_{ck})

Nomenclatura	Resistência características do concreto (MPa)
f	25
g	40

Fonte: O Autores (2017).

Cabe ressaltar que as configurações estruturais da Tabela 1, de nomenclaturas E e F, são utilizadas apenas nos exemplos com três pavimentos. As de nomenclaturas G e H são utilizadas apenas nos exemplos com dois pavimentos, e as de nomenclaturas I e J são utilizadas apenas nos exemplos com um pavimento. Esta diferenciação foi aplicada para vislumbrar características compatíveis com o que é empregado nas edificações reais.

Com isso, na Tabela 4 pode-se visualizar a lista de exemplos simulados. Para compreender a simbologia adotada convém observar a Tabela 5.

Tabela 4 – Exemplos para simulação

COMBINAÇÕES			
3T ₁ Ev ₁ f	3T ₁ Ev ₁ g	3T ₁ Ev ₂ f	3T ₁ Ev ₂ g
3T ₁ Fv ₁ f	3T ₁ Fv ₁ g	3T ₁ Fv ₂ f	3T ₁ Fv ₂ g
3T ₂ Ev ₁ f	3T ₂ Ev ₁ g	3T ₂ Ev ₂ f	3T ₂ Ev ₂ g
3T ₂ Fv ₁ f	3T ₂ Fv ₁ g	3T ₂ Fv ₂ f	3T ₂ Fv ₂ g
2T ₁ Gv ₁ f	2T ₁ Gv ₁ g	2T ₁ Gv ₂ f	2T ₁ Gv ₂ g
2T ₁ Hv ₁ f	2T ₁ Hv ₁ g	2T ₁ Hv ₂ f	2T ₁ Hv ₂ g
2T ₂ Gv ₁ f	2T ₂ Gv ₁ g	2T ₂ Gv ₂ f	2T ₂ Gv ₂ g
2T ₂ Hv ₁ f	2T ₂ Hv ₁ g	2T ₂ Hv ₂ f	2T ₂ Hv ₂ g
1T ₁ lv ₁ f	1T ₁ lv ₁ g	1T ₁ lv ₂ f	1T ₁ lv ₂ g
1T ₁ Jv ₁ f	1T ₁ Jv ₁ g	1T ₁ Jv ₂ f	1T ₁ Jv ₂ g
1T ₂ lv ₁ f	1T ₂ lv ₁ g	1T ₂ lv ₂ f	1T ₂ lv ₂ g
1T ₂ Jv ₁ f	1T ₂ Jv ₁ g	1T ₂ Jv ₂ f	1T ₂ Jv ₂ g

Fonte: Os Autores (2017).

Tabela 5 – Descrição da simbologia adotada na Tabela 4

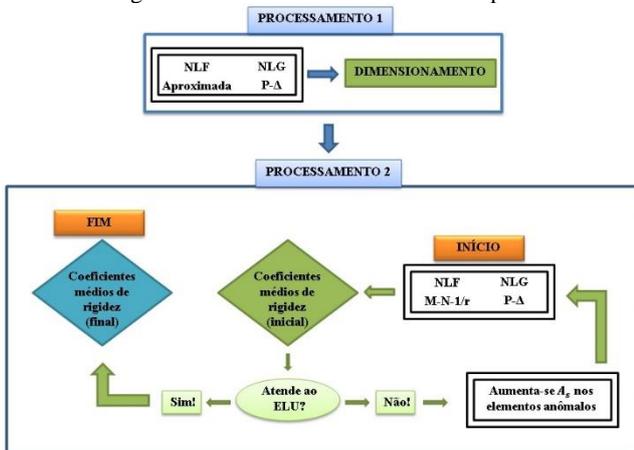
SIMBOLOGIA	
Número de pavimentos	1, 2, 3
Tipos de plantas de fôrma	T ₁ , T ₂
Tipos de configurações estruturais: dimensões de vigas, pilares e lajes; altura de piso a piso; vãos entre vigas	E, F, G, H, I, J
Tipos de V ₀	V ₁ , V ₂
Tipos de f _{ck}	f, g

Fonte: Os Autores (2017).

2.2 Modelo de análise dos exemplos

Na Figura 5 pode-se verificar por meio do fluxograma, o processo de simulação de todos os exemplos.

Figura 5 – Modelo de análise dos exemplos



Nota: os "elementos anômalos" são os elementos de barra discretizados que não atenderam ao ELU.

Fonte: Os Autores (2017).

2.2.1 Processamento 1

Inicialmente, avalia-se a NLF de forma aproximada com os valores de rigidez para as vigas ($EI_{sec} = 0,4 \cdot E_{ci}I_c$) e para os pilares ($EI_{sec} = 0,8 \cdot E_{ci}I_c$) – lembrando que, estes valores são usuais para edifícios com quatro pavimentos ou mais, no entanto, foram utilizados como medida inicial. A NLG é analisada pelo processo P-Δ.

Depois da estimativa dos esforços globais: 1ª ordem + 2ª ordem prossegue-se a análise dos efeitos locais de segunda ordem nos pilares.

Deste modo, definido o valor dos esforços totais em cada elemento, procede-se ao dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, de acordo com os parâmetros definidos na ABNT NBR 6118:2014.

2.2.2 Processamento 2

Com o auxílio do pórtico não linear físico e geométrico (PNLFG) efetua-se a avaliação da NLF por diagramas de M-1/r e N-M-1/r para as vigas e para os pilares, respectivamente. Análogo ao processamento 1, a NLG é avaliada pelo processo P-Δ.

Este processamento consiste apenas em uma verificação quanto ao ELU e possibilita a obtenção dos

valores de rigidez para cada elemento de barra discretizado das vigas e dos pilares.

A discretização é realizada em elementos de barra com 50 cm de comprimento, pois em testes preliminares apresentou um desempenho semelhante à discretização em elementos de barras com 10 cm de comprimento e, visando economia no custo computacional, a escolha foi justificada.

Para as barras discretizadas que não atendem ao ELU efetuam-se, manualmente, acréscimos mínimos nas respectivas áreas de armaduras longitudinais e, em seguida, submete-se o exemplo a uma nova análise quanto a NLF e NLG por meio do PNLFG. Novos valores de rigidez para cada barra discretizada são obtidos. Esse processo se repete até que todos os elementos atendam ao ELU.

Posteriormente, anotam-se os valores médios de rigidez fornecidos pelo *software*, do conjunto de vigas e pilares da estrutura.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 6 podem ser vistos os resultados das simulações efetuadas para cada exemplo idealizado, referentes aos valores médios de rigidez das vigas, $EI_{sec} = \alpha_v \cdot E_{ci}I_c$, e dos pilares, $EI_{sec} = \alpha_p \cdot E_{ci}I_c$, para cada exemplo simulado. Em que: α_v e α_p são os coeficientes redutores de rigidez das vigas e dos pilares, respectivamente.

Tabela 6 – Resultados das simulações

Exemplo	Coeficientes médios de rigidez	Exemplo	Coeficientes médios de rigidez
3T1Ev1f	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,75$	2T2Gv1f	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,68$
3T1Ev1g	$\alpha_v: 0,13 \alpha_p: 0,79$	2T2Gv1g	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,72$
3T1Ev2f	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,74$	2T2Gv2f	$\alpha_v: 0,19 \alpha_p: 0,67$
3T1Ev2g	$\alpha_v: 0,13 \alpha_p: 0,79$	2T2Gv2g	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,70$
3T1Fv1f	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,77$	2T2Hv1f	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,80$
3T1Fv1g	$\alpha_v: 0,11 \alpha_p: 0,82$	2T2Hv1g	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,82$
3T1Fv2f	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,77$	2T2Hv2f	$\alpha_v: 0,17 \alpha_p: 0,79$
3T1Fv2g	$\alpha_v: 0,11 \alpha_p: 0,82$	2T2Hv2g	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,81$
3T2Ev1f	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,74$	1T1Iv1f	$\alpha_v: 0,19 \alpha_p: 0,68$
3T2Ev1g	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,78$	1T1Iv1g	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,71$
3T2Ev2f	$\alpha_v: 0,20 \alpha_p: 0,72$	1T1Iv2f	$\alpha_v: 0,19 \alpha_p: 0,67$
3T2Ev2g	$\alpha_v: 0,17 \alpha_p: 0,76$	1T1Iv2g	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,71$
3T2Fv1f	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,75$	1T1Jv1f	$\alpha_v: 0,17 \alpha_p: 0,76$
3T2Fv1g	$\alpha_v: 0,11 \alpha_p: 0,80$	1T1Jv1g	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,78$
3T2Fv2f	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,75$	1T1Jv2f	$\alpha_v: 0,17 \alpha_p: 0,75$
3T2Fv2g	$\alpha_v: 0,12 \alpha_p: 0,79$	1T1Jv2g	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,78$
2T1Gv1f	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,70$	1T2Iv1f	$\alpha_v: 0,21 \alpha_p: 0,67$
2T1Gv1g	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,74$	1T2Iv1g	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,71$
2T1Gv2f	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,70$	1T2Iv2f	$\alpha_v: 0,21 \alpha_p: 0,66$
2T1Gv2g	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,75$	1T2Iv2g	$\alpha_v: 0,18 \alpha_p: 0,70$
2T1Hv1f	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,81$	1T2Jv1f	$\alpha_v: 0,17 \alpha_p: 0,73$
2T1Hv1g	$\alpha_v: 0,13 \alpha_p: 0,84$	1T2Jv1g	$\alpha_v: 0,14 \alpha_p: 0,75$
2T1Hv2f	$\alpha_v: 0,15 \alpha_p: 0,82$	1T2Jv2f	$\alpha_v: 0,16 \alpha_p: 0,73$
2T1Hv2g	$\alpha_v: 0,13 \alpha_p: 0,85$	1T2Jv2g	$\alpha_v: 0,13 \alpha_p: 0,76$

Fonte: Os Autores (2017).

A influência da resistência característica do concreto na rigidez das vigas e dos pilares demonstrou-se

significativa. Pode-se observar que, em todos os exemplos, o aumento do $f_{ck} = 25$ MPa para $f_{ck} = 40$ MPa proporcionou um decréscimo considerável na rigidez das vigas – máximo observado de 21,43% – e um acréscimo razoavelmente considerável na rigidez dos pilares – máximo observado de 7,14%.

Na Tabela 7 são apresentadas informações extraídas da Tabela 5 com o intuito de explicar como essa evidência pode ser observada. De acordo com a simbologia explicada no Capítulo 2, a única diferença entre os dois exemplos é a resistência característica do concreto, com isso, pode-se observar que α_v apresenta valor inferior no exemplo da segunda linha em relação ao da primeira linha, enquanto que α_p apresenta valor superior.

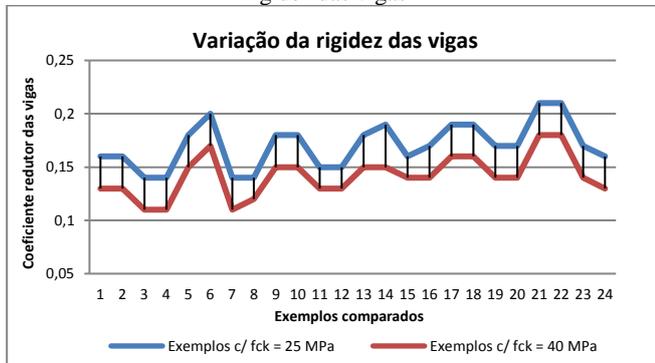
Tabela 7 – Influência da resistência característica do concreto

Exemplo	1ª iteração
3T1Ev1f	$\alpha_v: 0,16$ $\alpha_p: 0,75$
3T1Ev1g	$\alpha_v: 0,13$ $\alpha_p: 0,79$

Fonte: Os Autores (2017).

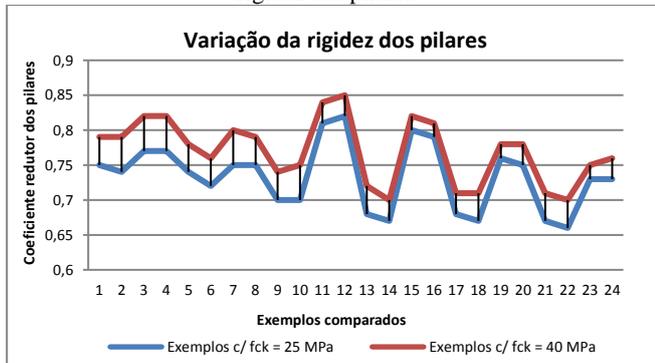
Em todas as figuras a seguir, as abscissas indicam a comparação entre dois exemplos simulados variando-se determinada característica e, deste modo, têm-se 24 exemplos comparados em cada figura, pois no total foram 48 exemplos simulados. Nas Figuras 6 e 7 pode-se visualizar a variação da rigidez das vigas e dos pilares em todos os exemplos.

Figura 6 – Influência da resistência característica do concreto na rigidez das vigas



Fonte: Os Autores (2017).

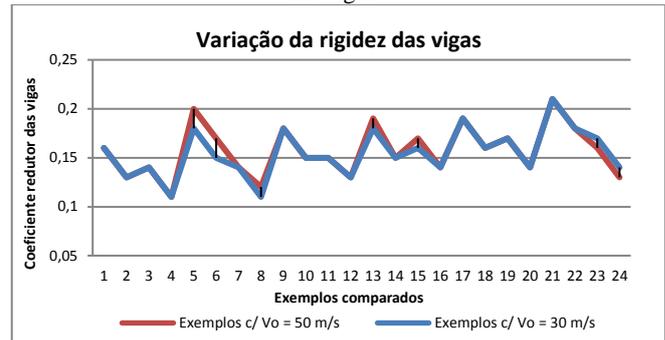
Figura 7 – Influência da resistência característica do concreto na rigidez dos pilares



Fonte: Os Autores (2017).

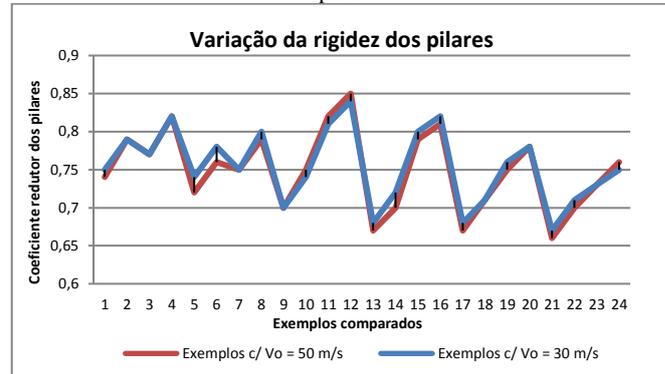
A influência da velocidade básica do vento na rigidez das vigas e dos pilares demonstrou-se de pequena intensidade, onde, em muitos exemplos, não houve nenhuma interferência. Nos casos em que houve influência, o aumento de $v_0 = 30$ m/s para $v_0 = 50$ m/s não proporcionou um padrão de variação, onde se obteve resultados com acréscimo e/ou decréscimo na rigidez das vigas e dos pilares. A maior variação na rigidez das vigas foi de 11,11%, enquanto que, para os pilares, foi de 2,7%. Nas Figuras 8 e 9, pode-se visualizar a variação da rigidez das vigas e dos pilares em todos os exemplos.

Figura 8 – Influência da velocidade básica do vento na rigidez das vigas



Fonte: Os Autores (2017).

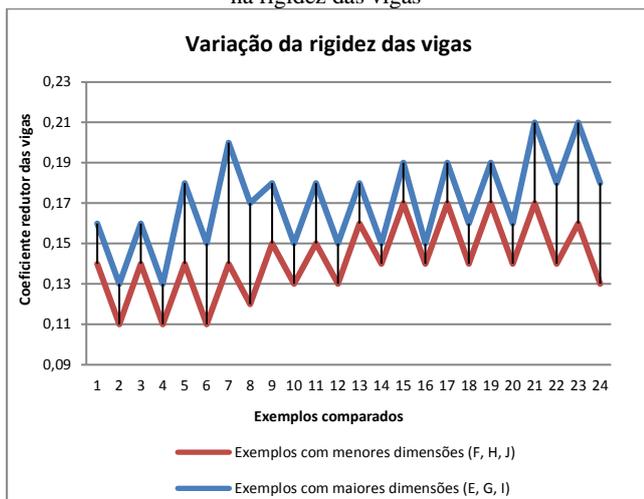
Figura 9 – Influência da velocidade básica do vento na rigidez dos pilares



Fonte: Os Autores (2017).

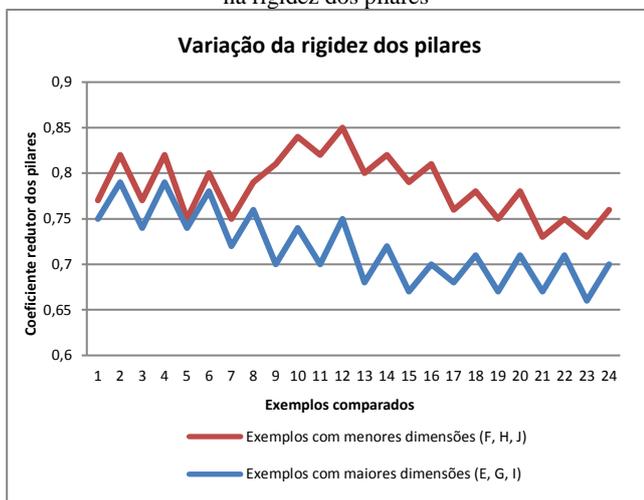
A influência das dimensões dos elementos estruturais demonstrou-se de grande magnitude. Pode-se observar que, em todos os exemplos, a redução da altura, da largura e do comprimento de vigas e de pilares, proporcionou um decréscimo considerável na rigidez das vigas – máximo observado de 30% – e um acréscimo também considerável na rigidez dos pilares – máximo observado de 17,91%. Nas Figuras 10 e 11, pode-se visualizar a variação da rigidez das vigas e dos pilares em todos os exemplos.

Figura 10 – Influência das dimensões dos elementos estruturais na rigidez das vigas



Fonte: Os Autores (2017).

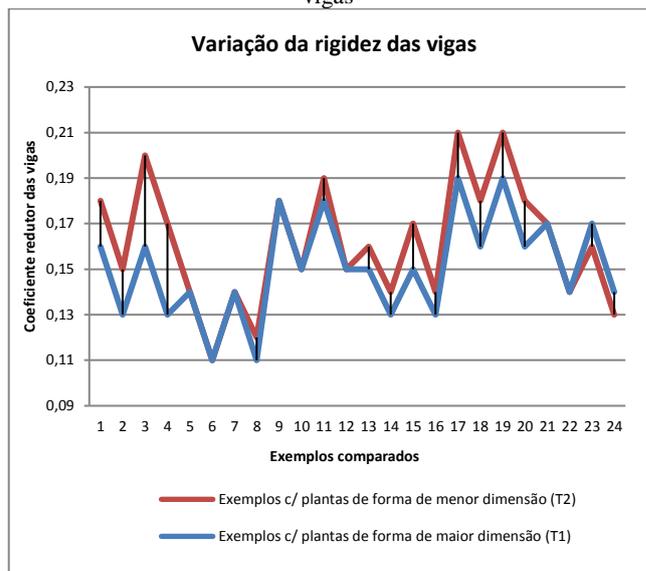
Figura 11 – Influência das dimensões dos elementos estruturais na rigidez dos pilares



Fonte: Os Autores (2017).

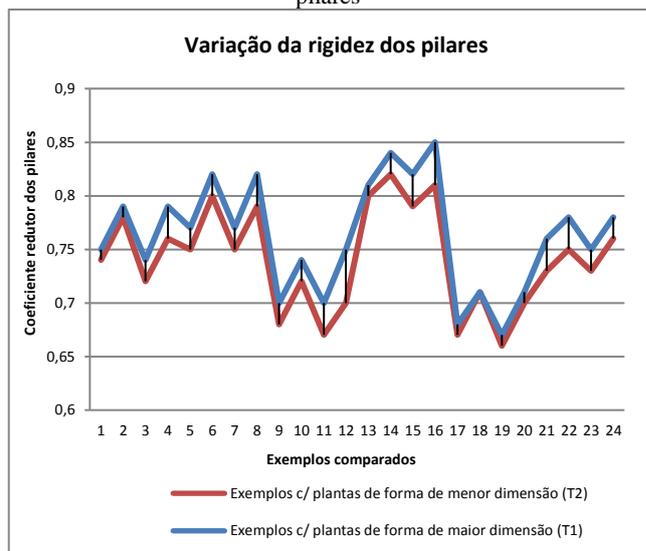
Por fim, a influência da área das plantas de fôrma na rigidez das vigas e dos pilares demonstrou-se significativa. Pode-se observar que, em quase todos os exemplos, a redução da área da plantas de fôrma T_1 para a plantas de fôrma T_2 proporcionou um acréscimo considerável na rigidez das vigas – máximo observado de 30,77% – e um decréscimo razoavelmente considerável na rigidez dos pilares – máximo observado de 6,67%. A exceção ocorreu nas comparações dos exemplos $(1T_1|v_2f \rightarrow 1T_2|v_2f)$ e $(1T_1|v_2g \rightarrow 1T_2|v_2g)$, onde houve um decréscimo na rigidez das vigas de 5,88% e 7,14%, respectivamente. Nas Figuras 12 e 13, pode-se visualizar a variação da rigidez das vigas e dos pilares em todos os exemplos.

Figura 12 – Influência da área das plantas de fôrma na rigidez das vigas



Fonte: Os Autores (2017).

Figura 13 – Influência da área das plantas de fôrma na rigidez dos pilares



Fonte: Os Autores (2017).

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que as variações na resistência característica do concreto, nas dimensões dos elementos estruturais e nas dimensões das plantas de fôrma são de considerável influência na determinação dos valores de rigidez das vigas e dos pilares, enquanto que, a variação da velocidade básica do vento é de pequena influência.

Especificamente, pode-se evidenciar que, quando a resistência característica das vigas e dos pilares é aumentada, a rigidez das vigas diminui, α_v decresce, e a rigidez dos pilares aumenta, α_p cresce. Um fenômeno similar ocorre em relação às dimensões dos elementos estruturais, pois, quando as dimensões das vigas e dos pilares são aumentadas, a rigidez das vigas aumenta, α_v cresce, e a rigidez dos pilares diminui, α_p decresce.

Essas evidências podem ser utilizadas como fatores para tomadas de decisão em projetos de estruturas de concreto armado de pequeno porte e devem torna-se objeto de estudos mais aprofundados nesta área, de modo a construirmos metodologias diferenciadas para edificações de pequeno porte.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se o estudo do comportamento da rigidez, das vigas e dos pilares, quando a resistência característica de apenas um destes é alterada, e, também, a consideração da rigidez das lajes na análise dos problemas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá – UEM pelas condições materiais inerentes a elaboração da pesquisa. À Fundação Araucária, CAPES, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- GOULART, M. dos S. S.; SHEHATA, I. A. EL M. Contribuição da rigidez à flexão das lajes para a estabilidade global de edifícios. **In**: Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, 2008.
- KIMURA, A. E. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1. ed. São paulo: PINI, 2007.
- MARTINS, C. H. Consideração da não linearidade física para as vigas de concreto armado, pelo procedimento refinado da NB1. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, n. 1, p. 15-18, 2008.
<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i1.3180>.