

Análise do Comportamento de Edifícios de Concreto Armado Contraventados por Núcleo Rígido

**José Carlos Zandonai Filho¹, Guilherme Luiz Sirino², Lucas Matheus de Oliveira
Scoz³**

¹Universidade do Vale do Itajaí / Engenharia Civil / eng.josezandonai@gmail.com

²Universidade do Vale do Itajaí / Engenharia Civil / tigu-sirino@hotmail.com

³Universidade do Vale do Itajaí / Engenharia Civil / lucas.scoz@univali.br

Resumo

Este artigo é um estudo baseado na estabilidade global de edifícios de concreto armado que utilizam de um núcleo resistente para aumentar sua rigidez estrutural. Diante disso, e por meio do reposicionamento deste sistema de contraventamento entre o centro, lateral e canto do pórtico espacial, o artigo visa apresentar o quanto significativa é essa disposição numa estrutura de concreto armado, além de demonstrar que, em edifícios altos, a ação dos ventos é um fator crítico na concepção estrutural. Para tanto, em 2 modelos acadêmicos distintos, utilizou-se uma combinação simultânea entre cargas verticais e horizontais demonstrando como se comporta a estrutura em relação a deslocamentos, consumo de materiais e custo. Por meio do *software* CAD/TQS[®] os modelos, com 30, 35 e 40 pavimentos, foram verificados e dimensionados de acordo com a NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento e, buscando ainda salientar a necessidade da utilização do núcleo rígido. Esses edifícios foram modelados sem núcleo rígido apresentando, dessa forma, resultados impraticáveis. Após análise e coleta de dados, por meio de gráficos, os modelos foram comparados buscando identificar a situação mais favorável ao dimensionamento. Constatou-se que quanto mais afastado está o núcleo rígido do centro de gravidade da planta baixa do edifício, maior será o deslocamento do pórtico e, conseqüentemente, maiores tensões, consumo de materiais e custo. Concluiu-se ainda que o valor por área construída está diretamente ligado à esbelteza do modelo, ou seja, concomitante ao aumento da esbelteza está o custo do empreendimento.

Palavras-chave

Estabilidade Global; Concreto armado; Contraventamento.

Introdução

O desenvolvimento das cidades e a supervalorização dos empreendimentos tem impactado diretamente na construção civil, deixando os terrenos disputados a cada unidade de área e com uma procura pelo melhor aproveitamento do espaço disponível. Além disso, os projetos se tornaram mais arrojados em função de diferentes fatores, dentre os quais se destacam: a escassez de terrenos com uma área grande nos centros urbanos, a necessidade de melhor aproveitamento do terreno, o crescimento do valor imobiliário, as tecnologias que otimizam a gestão de projetos e a competitividade da indústria construtiva. Os fatores apontados e o contexto socioeconômico têm influenciado a verticalização das construções como uma das soluções para o melhor

aproveitamento dos espaços urbanos, proporcionando uma elevada esbeltez às edificações.

Concomitante ao aumento de esbeltez surgem deslocamentos que tendem a desafiar sua resistência e proporcionam um desafio técnico do ponto de vista de segurança estrutural e conforto aos usuários. A consideração da deslocabilidade de uma estrutura é objeto de estudo de muitos pesquisadores e o avanço nesta área fornece aos profissionais a possibilidade de se produzir projetos cada vez mais seguros. Um exemplo pertinente é a NBR 6118, visto que as suas versões iniciais não contemplavam uma abordagem detalhada dessa verificação, enquanto que a atual apresenta um capítulo inteiro definindo métodos, parâmetros e coeficientes que determinam a estabilidade global de uma estrutura.

Diante disso, é crucial a utilização de um sistema estrutural capaz de resistir à combinação simultânea de ações horizontais e verticais, leia-se, respectivamente, vento, peso próprio e cargas de utilização.

Os sistemas estruturais são desenvolvidos visando uma combinação tridimensional que ofereça rigidez e estabilidade ao empreendimento. O núcleo rígido, por exemplo, é um sistema de contraventamento entendido como uma combinação de pilares paredes, comumente utilizado por projetistas em edifícios esbeltos, onde se aproveitam da proximidade entre escada de emergência e elevadores para formar um elemento sólido que influencie na rigidez global da estrutura (KUSTER, 2014).

A disposição dos elementos estruturais em planta baixa está diretamente ligada à arquitetura, portanto, é crucial que haja uma interlocução prévia entre os arquitetos e projetistas de estruturas visando um alinhamento entre projetos, estratégia para estabelecer quais tipologias estruturais e disposição dos elementos se adequam melhor àquela edificação.

O presente trabalho realiza uma análise sobre a influência da posição do núcleo rígido na estabilidade global de edifícios com estrutura em concreto armado apontando a posição em planta baixa mais adequada em função do consumo de materiais e estabilidade.

Referencial Teórico

Nos projetos estruturais devem ser adotadas técnicas e procedimentos adequados para tornar as estruturas suficientemente capazes de resistirem as ações verticais, entende-se como peso próprio e cargas de utilização, e as ações horizontais, provenientes dos efeitos de vento, empuxos e ações sísmicas, conforme ilustra a Figura 1. A geometria da edificação é de suma importância na hora de elaborar o projeto estrutural, pois uma estrutura muito esbelta apresentará um maior grau de complexidade, resultando em elementos com maiores dimensões para resistirem aos esforços de 2ª ordem. Conforme BORGES, *et al.* (2009), classificam a esbeltez das estruturas em pequena esbeltez, quando a relação largura por altura apresenta valor igual ou inferior a 4, medianamente esbeltos, com valores entre 4 e 6, e em estruturas altamente esbeltas, aquelas com valores acima de 6. A boa escolha do sistema de contraventamento tem como finalidade tornar a estrutura econômica e rígida o suficiente para atender os limites de deslocamento propostos na NBR 6118:2014, principalmente em edifícios altos e esbeltos, onde os esforços na estrutura apresentam valores expressivos. Segundo Carneiro (2008) os fatores que influenciam no comportamento global da estrutura e

induzem o projetista na escolha de um tipo de contraventamento são o formato da estrutura, condições do terreno, geometria das seções transversais dos elementos, número de ligações, características dos materiais e deformações impostas. A Figura 2 apresenta alguns tipos de sistemas de contraventamento. O núcleo rígido é uma subestrutura que garante elevada rigidez em ambas direções e é responsável por absorver parte dos esforços da estrutura. Esta subestrutura é um conjunto de pilares interligados formando um elemento estrutural único, e geralmente apresenta formato U ou L. O fato do núcleo rígido ser utilizado principalmente em edificações altas, onde a escada e o poço do elevador estão localizados no centro da estrutura, proporciona o posicionamento nesta região. Porém, alguns projetos tem a região de escada e elevador localizados nas extremidades da obra, e com a atuação do vento, ocorrem maiores efeitos de torção e flexão na estrutura. Para Carneiro (2008) a localização do núcleo rígido é de suma importância, haja visto que a excentricidade deste elemento causa efeitos variados, tais como a ações de flexão e torção na estrutura.

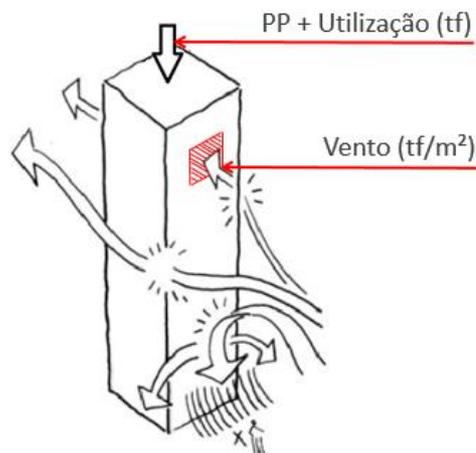


Figura 1 – Ações verticais e horizontais na estrutura.

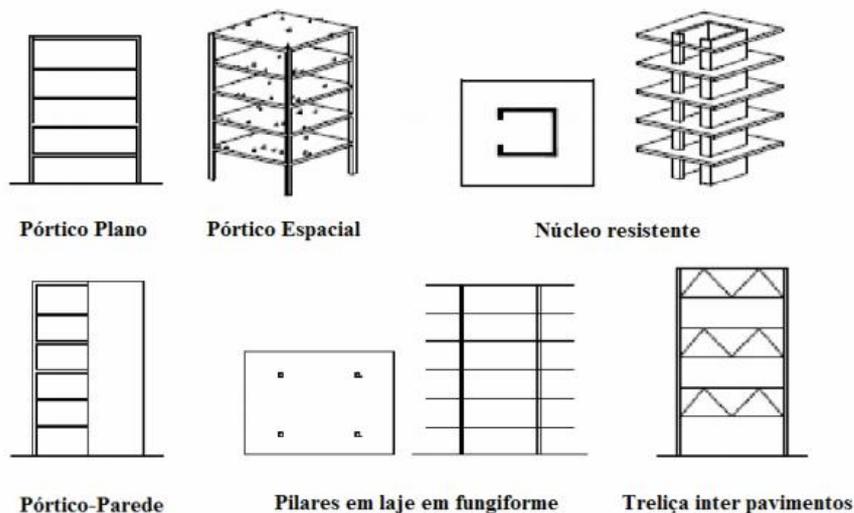


Figura 2 – Tipos de sistemas de contraventamento.

Fonte: Carneiro, 2008

Metodologia

O estudo propõe avaliar o desempenho de modelos acadêmicos desenvolvidos em concreto armado por meio da variação da posição do núcleo rígido. Os dois arranjos foram projetados para 30, 35 e 40 pavimentos, de modo a estarem dentro de um padrão regional e apresentarem altura suficiente para que as forças horizontais sejam de grande influência. Tais modelos terão uma seção de núcleo rígido que será locada em três posições distintas.

A utilização de um projeto arquitetônico real no desenvolvimento desse trabalho seria inviável devido às restrições propostas pelos ambientes internos durante a movimentação do núcleo rígido em planta. Dessa maneira, foram produzidos dois modelos estruturais de forma bastante simétrica, porém com esbeltez diferente visando analisar o seu comportamento. A Figura 3 apresenta os modelos estruturais adotados.

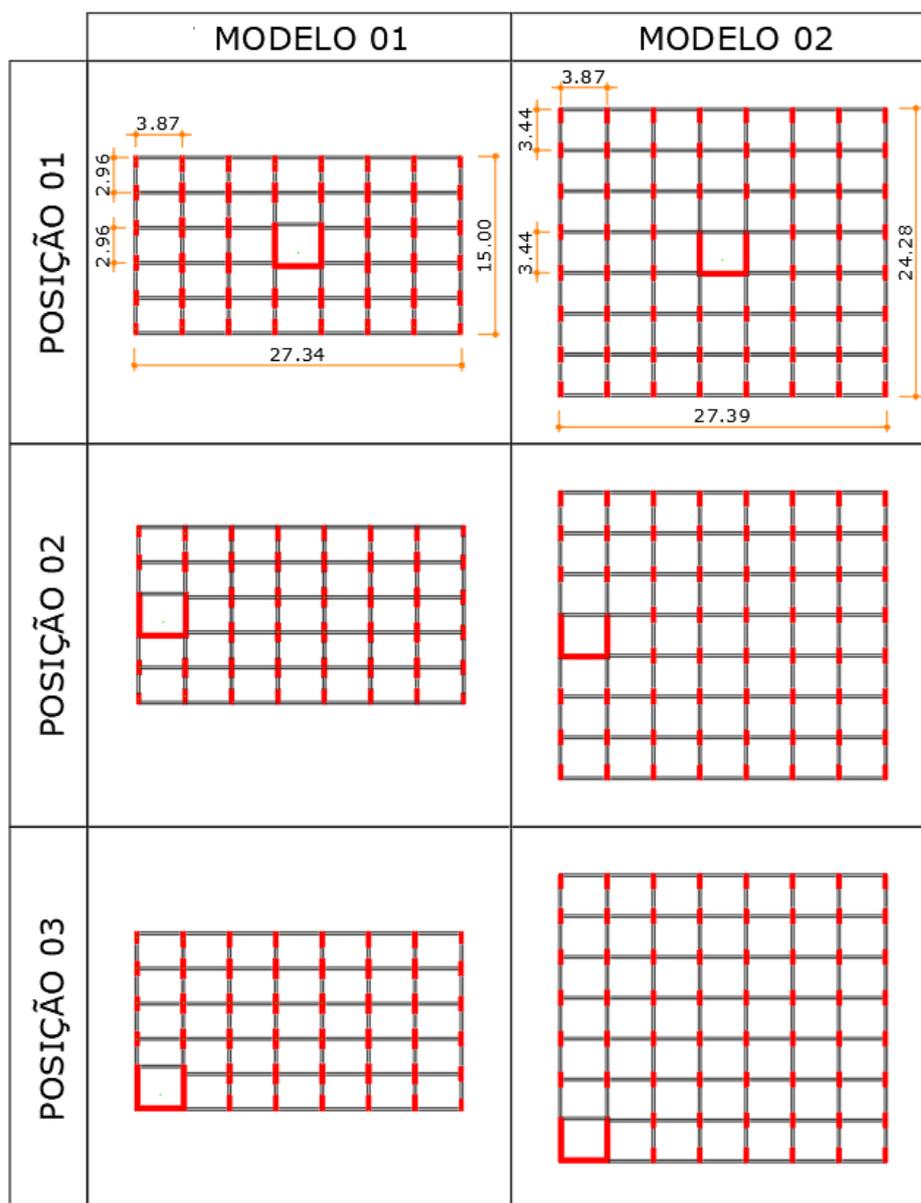


Figura 3 - Modelos Estruturais.

Diante disso, temos um montante de dezoito modelos que serão analisados perante os seguintes critérios:

- Deslocamentos laterais de 2ª ordem;
- Coeficiente γ_z ;
- Parâmetro de instabilidade α ;
- Consumo de aço;
- Consumo de concreto;
- Consumo de fôrmas.
- Taxas de materiais

Para o melhor entendimento sobre os modelos utilizados adotou-se uma nomenclatura padronizada, conforme a Figura 4.

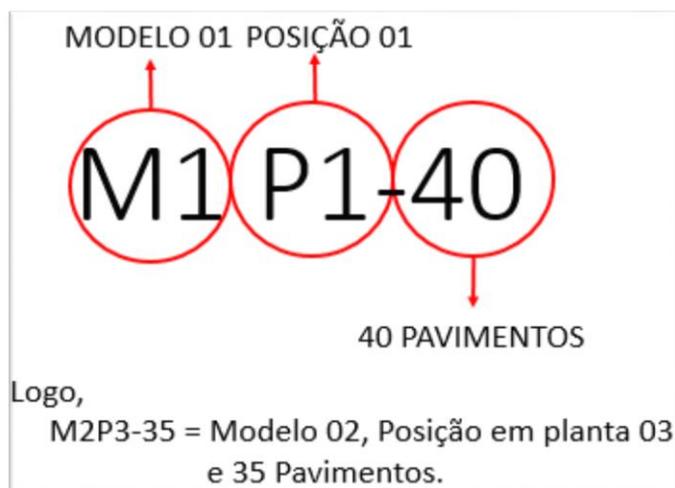


Figura 4 – Nomenclatura dos modelos.

Os elementos estruturais foram pré-dimensionados de acordo com equações cotidianas da Engenharia Estrutural. O núcleo rígido, por sua vez, foi criado buscando atender as necessidades básicas de uma escada, leia-se larguras mínimas e dimensões dos degraus, visto que é o local mais utilizado para tanto. Tal critério é utilizado por ser um local que pouco interfere nos ambientes internos e oferece maior segurança ao núcleo em termos de reformas e avarias. A Figura 5 ilustra o desenho do núcleo.

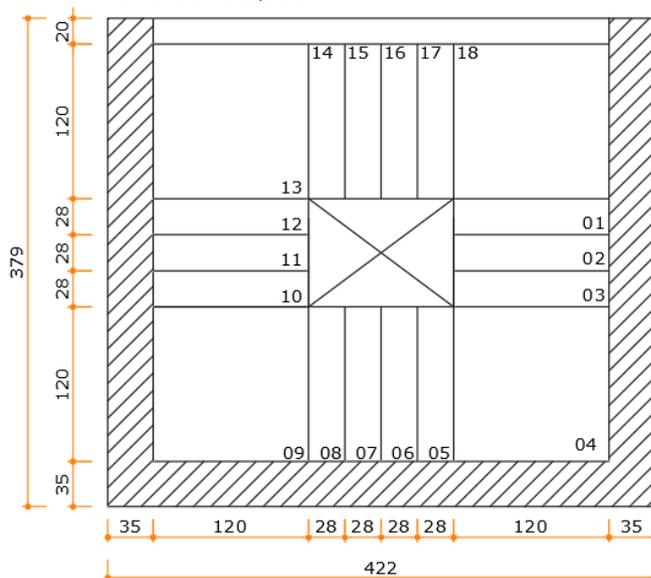


Figura 5 – Seção transversal do núcleo rígido.

A estrutura foi projetada com auxílio do *software* CAD/TQS® e adequada à NBR 6118:2014, sendo adotados os seguintes critérios:

- Modelo VI, o que representa no *software* o pórtico espacial com contribuição das lajes na rigidez global da estrutura;
- Resistência a compressão do concreto de 40 MPa;
- Cobrimento de 3 cm nos elementos da superestrutura;
- Pé-direito de 3,24 m;
- Carga horizontal:
 - Velocidade básica do vento de 42 m/s;
 - S1: 1 (fator de terreno plano), S2: IV (terreno com muitos obstáculos) e com uma das suas dimensões superior a 50 metros, S3: 1 (fator estatístico, para hotéis, residências, comércios);
- Carga vertical:
 - Alvenaria sobre as vigas: 493 Kgf/m;
 - Carga nas lajes: carga acidental e permanente de 150 Kgf/m², totalizando 300 Kgf/m².

O modelo 1, para 30, 35 e 40 pavimentos, apresentou esbeltez de 6.6, 7.7, e 8.7, respectivamente, classificando-os como uma estrutura altamente esbelta. Para o modelo 2, a esbeltez ficou classificada como medianamente esbelta, com o valor de 4.1 para 30 pavimentos, 4.7 para 35 pavimentos e 5.4 para 40.

De acordo com o item 15.7.2 da NBR 6118:2014, uma análise não linear de 2ª ordem pode ser avaliada através do coeficiente γ_z , desde que seu valor seja menor ou igual a 1,30. Dessa maneira, buscou-se atender esse critério durante o desenvolvimento do estudo.

Análise de Dados

Antes de prosseguir com a análise de dados, procurou-se atender as condições de estado limite último de todos os elementos estruturais, principalmente no pilar de núcleo rígido, que quando posicionado à extrema do projeto, ocasionava incapacidade estrutural nos primeiros lances. A principal causa do não atendimento ao dimensionamento foi a ruptura à flexão, gerada pela ação do vento. Após a verificação do E.L.U. partiu-se para as análises do estado último de serviço, do consumo e taxas de materiais.

Os gráficos 01 e 02 apresentam o consumo de materiais alcançados no desenvolvimento do estudo e diante deles é possível analisar de certa forma como a estrutura se comportou.

No consumo de concreto nota-se uma pequena variação à medida que se muda o núcleo rígido de posição, ou seja, realocando esse pilar de grandes dimensões é necessário excluir aqueles que ocupavam a atual posição e incluir outros no lugar onde o núcleo foi retirado.

A medida que se afasta o núcleo do centro do pórtico para as extremidades nota-se um maior consumo de aço para as três alturas, ou seja, a estrutura passa a sofrer mais pois perde rigidez e conseqüentemente necessita mais aço para compensar essa perda.

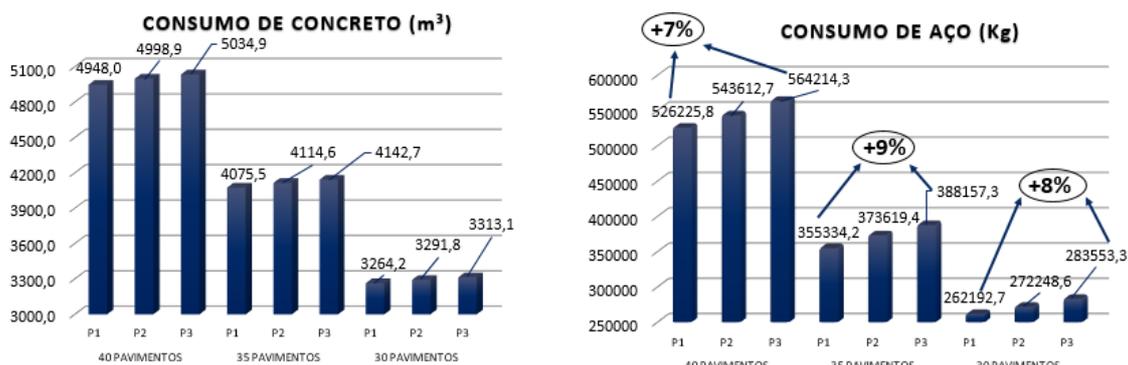


Gráfico 1 – Consumo de materiais – Modelo 1

O modelo 2 comprova que a realocação do núcleo rígido entre P1, P2 e P3, respectivamente, diminui a rigidez global dos edifícios aumentando o consumo de materiais e custo final.

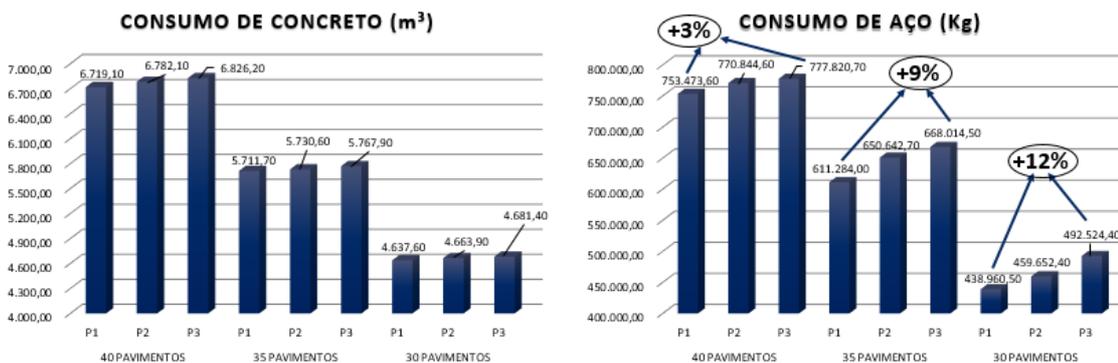


Gráfico 2 – Consumo de materiais – Modelo 2

De acordo com o Gráfico 3 é possível identificar que os pilares ficaram bem abaixo do ideal que varia de 150 a 210 Kg/m³. O motivo disso acontecer é que se trata de um modelo acadêmico, onde adotou-se uma grande quantidade de pilares, para que o coeficiente γ_z não excedesse o limite de 1,3, e com vãos relativamente pequenos para os padrões atuais. Para alcançar o intervalo supracitado seria necessário diminuir a quantidade ou as seções transversais dos pilares.

Entretanto, as vigas e as lajes excederam em muito os valores de taxa de armadura, sendo de 70 a 100 Kgf/m³ para as vigas e de 60 a 80 Kgf/m³ para as lajes. Situação oposta à dos pilares, ou seja, seria necessário aumentar suas dimensões para diminuir consideravelmente o consumo de aço e consequentemente reduzir essas taxas.

Num total é possível perceber que as taxas de armadura nas 3 posições permaneceram próximas a 100Kg/m³, porém a P3 confirmou ser a pior situação, devido ao aumento da quantidade de aço.

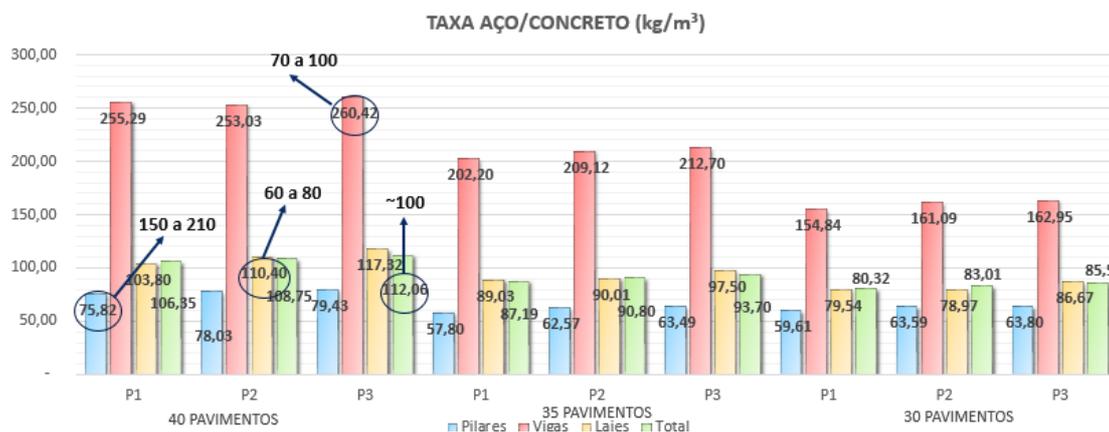


Gráfico 3 – Taxa Aço/Concreto – Modelo 1

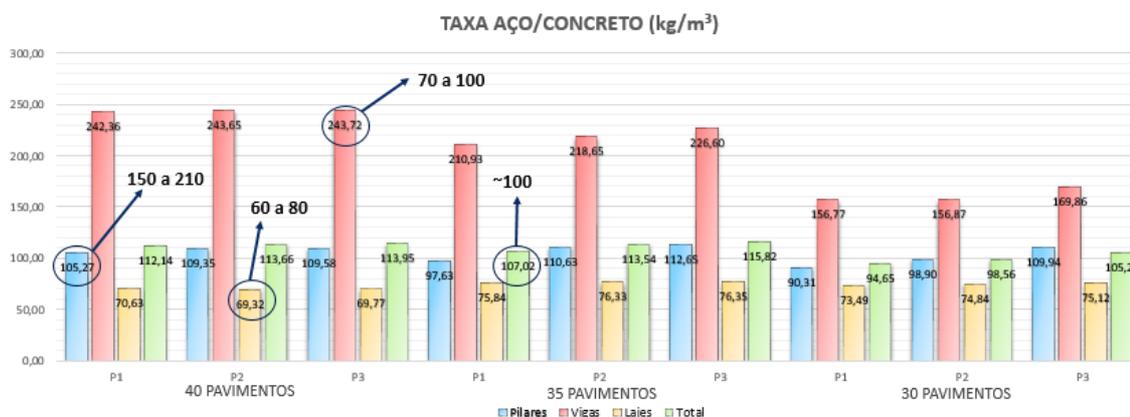


Gráfico 4 – Taxa Aço/Concreto – Modelo 2

Considerações Finais

Quanto aos dois modelos com núcleo rígido foi possível identificar que os maiores valores de deslocamentos, coeficiente γ_z , e consumo de aço se dão quando o sistema de contraventamento está no canto da estrutura, ou seja, na posição P3.

Para todos os modelos de 30, 35 e 40 pavimentos foi possível identificar problemas com o dimensionamento do pilar de contraventamento, porém os modelos de 35 e 40 pavimentos apresentaram este problema em mais de um lance. Isso demonstra que quanto mais alta a edificação, mais importante se faz a utilização do núcleo rígido.

O estudo viabilizou o entendimento da posição em planta deste sistema de contraventamento, mostrando que quanto mais deslocado o núcleo rígido está do centro do pórtico, maior serão as solicitações e, conseqüentemente, maiores também os valores de deslocamentos de segunda ordem, parâmetros de estabilidade global e consumo de materiais.

Por fim, é possível salientar que o melhor comportamento da estrutura se dá quando o núcleo rígido está localizado no centro, sendo que, no modelo 1 para 40 pavimentos, o deslocamento no topo da edificação foi 23,25% menor que na posição P3, e o consumo de aço foi 7,22% menor. No modelo 2 para 40 pavimentos, também houve uma redução de 14,14% no deslocamento no topo e de 3,13% no consumo de aço, todos estes valores em relação da posição P1 com a P3.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. NBR 6120: Cargas para cálculo de estruturas de edifícios. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- BORGES, A.C.L., *et al.* Análise do comportamento estrutural de um edifício esbelto de 42 pavimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51, 2009, Recife. Anais. Recife: IBRACON, 2009.
- CARNEIRO, FRANCISCO M., GUERRA, JOÃO. Análise de estruturas: Contraventamento de edifícios. (S.l: s.n.), 2008, 76.p. Apostila
- KUSTER, V.K.J.P. Estudo do comportamento estrutural de prédios de concreto armado contraventados por núcleo rígido tendo em vista o esforço de torção originado pela ação do vento. 2014.113f. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.