

CONTRAVENTAMENTO: Análise comparativa entre o sistema estrutural de núcleo central e sistema de pórtico rígido.

Reis, Mariane Marques; Felipe, Renata da Silva.

Prof. Me Marcelo Cavalcanti da Silva

Universidade São Francisco

mariane.marquesr2@gmail.com; renatafelipe1@outlook.com

¹Alunas do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

²Professor Orientador Me Marcelo Cavalcanti da Silva, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. No presente trabalho foi desenvolvido um estudo sobre estruturas esbeltas e as ações do vento sobre elas, verificando as possíveis soluções para a problemática dos efeitos dessas ações nas estruturas. O edifício Turning Torso de Santiago Calatrava foi escolhido para estudo por possuir um sistema construtivo complexo, que além de ter um núcleo central, sua torção contribui para um melhor desempenho à ação do vento. Foi desenvolvida uma análise comparativa entre dois sistemas estruturais, pórtico rígido e sistema de núcleo central, na intenção de mostrar quais dos sistemas possui melhor desempenho. O estudo foi feito a partir de uma edificação de 10 pavimentos, com dimensões de 15 metros x 25 metros e vãos entre apoios (pilares) com média de 5 metros, atingindo altura total de 29,5 metros. Para o dimensionando foi utilizado o software estrutural Eberick 2021 em sua versão demonstrativa, onde foram obtidos os valores de descolamento das estruturas em seus estados limites de serviço (ELS) e último (ELU) e análise gráfica do descolamento horizontal devido à ação do vento, em 0° e 60°.

Palavras-chave: Estruturas Esbeltas, Ações do Vento, Deslocamentos.

Abstract. In the present work, a study on slender structures and the actions of the wind on them was developed, verifying the possible solutions for the problematic effects of these actions on the structures. The Turning Torso building in Santiago Calatrava was chosen for study because it has a complex construction system, which in addition to having a central core, its torsion contributes to a better performance to the wind action. A comparative analysis was developed between two structural systems, rigid frame and central core system, in order to show which systems have better performance. The study was based on a 10-floor building, with dimensions of 15 meters x 25 meters and spans between supports (pillars) with an average of 5 meters, reaching a total height of 29.5 meters. For the design, the Eberick 2021 structural software was used in its demonstrative version, where the displacement values of the structures in their service limit states (ELS) and ultimate (ELU) and graphic analysis of the horizontal displacement due to wind action were obtained, at 0° and 60°.

Key Words: Slender Structures, Wind Actions, Displacements.

Introdução

As primeiras construções habitáveis com mais de dois ou três andares foram feitas a partir de madeira, pedra, adobe e tijolo, em paredes grossas e extremamente pesadas para que sustentassem os demais andares. Com a necessidade de se fazer edifícios mais altos surgiram novas descobertas construtivas, como o concreto e o aço e conseqüentemente a junção dos mesmos.

A engenharia civil exige constante processo de atualização e inovação, e com o constante crescimento das cidades, o profissional da área tem que manter-se em busca de conhecimento e aperfeiçoamento para que o mercado tenha pessoas capacitadas para realizar projetos de grande porte e de alta complexidade.

O sistema de pórticos leva em consideração os tipos de ligações entre vigas e pilares, onde os mais usuais são rígidos e semi rígidos.

Segundo Silva (2010), as ligações semirrígidas são intermediárias entre as ligações rígidas e simples, uma vez que este tipo de ligação restringe uma parcela da rotação nas extremidades da viga, reduzindo o momento no meio do vão da estrutura sujeita a cargas verticais, mas estas ligações não restringem totalmente as rotações, uma vez que não são totalmente rígidas.

Conforme Taranath (1998 apud Silva, 2010), para que um pórtico seja considerado rígido, terá que ter ligações entre seus elementos, essas ligações devem ser suficientemente rígidas para que quando solicitada a carga não sofram deformações, as ações laterais são suportadas por esforços de flexão e esforço transverso, a continuidade nos apoios ajuda a diminuir também o momento fletor a meio vão. Do ponto de vista arquitetônico a vantagem é que permite a abertura de vãos sem muitos problemas, já que não tem Sistema de contraventamento, e sua altura depende da rigidez das solicitações laterais, por isso os efeitos de solicitações laterais são limitados para evitar danos estruturais.

De acordo com Silva (2010), quando o edifício se torna muito alto o Sistema de pórticos mais ou menos rígidos, deixa de ser apropriado, uma vez que o deslocamento lateral a ser absorvido se torna maior. Para solucionar este problema é utilizado o Sistema de contraventamento, fazendo com que grande parte do deslocamento lateral seja absorvido por esforços axiais, liberando então os pilares dos esforços.

Existem vários efeitos dinâmicos nas edificações, um deles é o vento, suas ações passaram a ser estudadas em estruturas altas e esbeltas, pois observou-se oscilações importantes nas mesmas.

Segundo Wahrhaftig (2017), antigamente não era usual levar em consideração as ações dos ventos, visto que, as construções eram baixas, e muito pesadas, e as paredes grossas, mas passou a ser na medida que as construções se tornaram mais altas, esbeltas, e com materiais mais leves.

Conforme (Blessmann, 1989 apud Wahrhaftig, 2017), é um desafio para os engenheiros de estruturas representar toda complexidade dos fenômenos dinâmicos, então algumas respostas são assumidas devido a variação nos carregamentos estruturais. Sendo a mais adequada a da aplicação dos esforços de maneira lenta, desprezando as velocidades e não levando em consideração as forças de inércia. Esse estudo de estrutura é feito de forma quase estática, desconsiderando o efeito de movimento em torno da configuração de equilíbrio. Porém pode resultar em movimentos oscilatórios em torno da configuração, levando a solicitação de reações e esforços internos nos que são estáticos.

“As ações exercidas pelo vento tornam-se particularmente importantes em estruturas esbeltas e de grande altura. Quanto mais esbeltas, mais sensíveis às ações dinâmicas do vento” (BLESSMANN, 1989 apud WAHRHAFTIG, 2017).

De acordo com Wahrhaftig (2017), um dos efeitos são os de rajadas de vento, no qual adota-se a hipótese de carregamentos estáticos equivalentes, mas existe uma penalidade na

adoção dessas hipóteses, pois pode haver efeitos dinâmicos importantes capazes de causar graves acidentes.

No Brasil a NBR 8681/03 segundo Wahrhaftig (2017), exige que no projeto de estruturas, se tenha a verificação da segurança das estruturas, levando em consideração os estados de limites últimos (ELU) da perda de equilíbrio, global ou parcial, adotada na estrutura como um corpo rígido; e dos estados limites de serviço, onde, geralmente é observada a vibração excessiva.

As estruturas esbeltas exigem um sistema para combater as ações provenientes do vento, uma vez que essas ações podem causar danos à estabilidade global da estrutura, esse sistema é denominado contraventamento.

Segundo Taranath (1988 apud Pereira, 2000), não existe nenhum conceito como o de proporções para considerar uma estrutura como alta, assim serão considerados altos todos aqueles que de alguma forma é afetada pela ação do vento. Acontecendo geralmente quando o edifício se eleva muito e as ações horizontais passam a ser consideráveis no sistema estrutural.

De acordo com Pereira (2000), as estruturas esbeltas geralmente apresentam deslocamentos que comprometem a estabilidade global da estrutura, dado que as ações são variáveis e aumentam conforme a altura.

Segundo Pereira (2000), o sistema estrutural e a rigidez são considerados prioritários na elaboração do projeto, sendo extremamente importante para que não haja deslocamento que comprometa a estrutura e a segurança do edifício.

Pereira (2000), afirma que para garantir a segurança de uma edificação esbelta, se usa o sistema estrutural de contraventamento, os pórticos, painéis, núcleos e paredes. Lajes e vigas são geralmente consideradas elementos horizontais de contraventamento.

Para Pereira (2000), de todos os tipos de contraventamento, o que resiste a todas as ações atuantes são os núcleos resistentes, paredes tridimensionais, que formam uma seção transversal aberta e que geralmente abriga caixa de elevadores e escadas.

Pereira (2000), diz que para que os resultados sejam eficientes, deve-se considerar os deslocamentos e os esforços atuantes que compõem os elementos da estrutura.

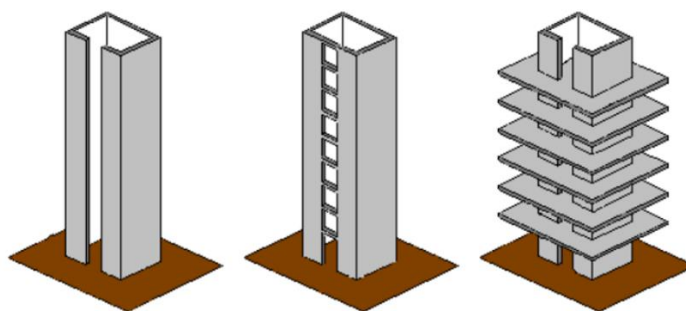


Figura 1 - Classificação dos Núcleos Resistentes (Fonte: Smith e Coull, 1991).

De acordo com Matias (1997 apud Pereira, 2000), o núcleo resistente tem elevada rigidez à flexão responsável por grande parte da resistência global da estrutura.

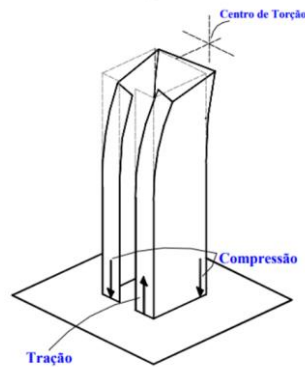


Figura 2 - Empenamento da Seção do Núcleo (Fonte: Smith e Coull, 1991).

Os núcleos resistentes, segundo Matias (1997 apud Pereira, 2000), conseguem restringir o deslocamento horizontal causado pela rotação em torno do centro de torção.

Pereira (2000), cada parte plana que compõe o núcleo é considerada um pilar isolado, assim as forças de cisalhamento não são consideradas, fazendo com a inércia à flexão do núcleo seja desprezada, visto que as partes são consideradas independentes e não como um único elemento estrutural.

Segundo Blessmann (1989 apud Wahrhaftig, 2017), classifica a ação do vento como estática, considerando a velocidade média, e os efeitos dinâmicos da energia cinética contida na atmosfera, barlavento, vórtices, ou instabilidade aerodinâmica causados por galope, ou drapejamento. O cálculo se dá a partir de três etapas: descrição do vento, dos efeitos aerodinâmicos e da resposta da estrutura a partir desses fatores.

O edifício Turning Torso localizado em Malmo na Suécia, foi escolhido para ser analisado neste trabalho. O prédio é obra do engenheiro-arquiteto Santiago Calatrava, foi selecionado para estudo por possuir uma arquitetura diferenciada e inúmeras curiosidades com relação ao sistema construtivo. Atualmente já foi superado em relação à torção e altura, porém tem grande relevância por ser o primeiro a ser construído, enfrentando inúmeros desafios. Abaixo a figura 3 mostra a planta baixa (Comercial) do edifício, com o sistema de núcleo central.

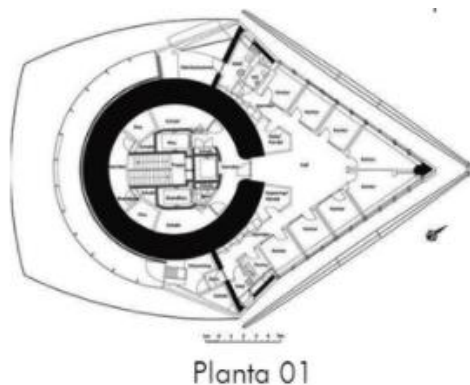


Figura 3 - Planta 01 Comercial Turning Torso (Fonte: Mañanas, 2015).

Polonini, 2014 afirma que Calatrava se inspirou na forma do torso humano girando no seu próprio eixo, sendo representado por uma série de cubos amontoados uns sobre os outros, onde cada um deles possui uma rotação diferente. A rotação entre a base e topo da torre somam 90° graus, fator que demonstra que a estrutura de 190 metros de altura foi torcida.

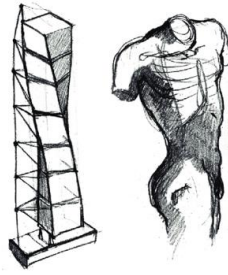


Figura 4 - Inspiração no Torso Humano (Fonte: Mañanas, 2015).

Para Jodidio (2007, p.403, apud Figueiredo, 2010), sua torre espiral é composta por nove cubos, cada um deles com cinco andares. O prédio conta com um núcleo onde se localiza as escadas e elevadores, o mesmo núcleo é responsável pela comunicação dos cubos.

Há várias maneiras de se estruturar um edifício alto. O sistema de núcleo central ou rígido é uma delas, onde o núcleo fica responsável por trazer rigidez à estrutura. Esse foi o sistema construtivo utilizado para a construção do Turning Torso. No estudo de caso temos a seguinte situação de núcleo central (figura 5).

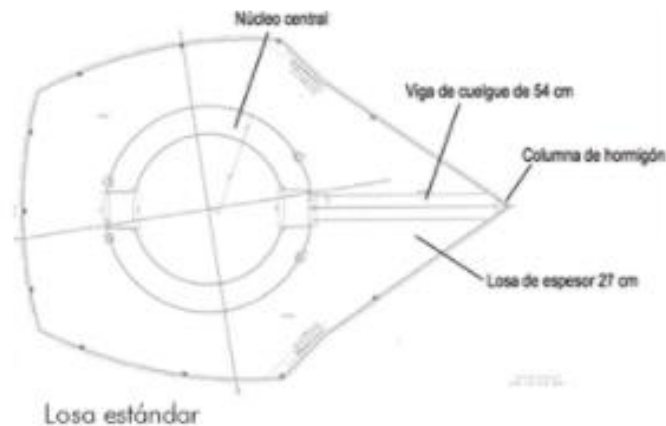


Figura 5 - Representação do sistema de núcleo central em planta baixa do Turning Torso (Fonte: Mañanas, 2015).

De acordo com Junior (2001, apud Mañanas, 2015), o núcleo é geralmente calculado separadamente, com intuito de se verificar se ele resiste às ações horizontais, caso ele resista os demais elementos (vigas, pilares, lajes), são calculados simultaneamente, para verificar se a estrutura resiste aos demais esforços e carregamentos.

Para Junior (2001, apud Mañanas, 2015), esse tipo de procedimento é comum em estruturas de concreto armado, da qual se tornou confiável por não apresentar patologias de erros de projeto estrutural. Ainda é comum as lajes serem calculadas separadas, apoiadas em vigas, e as vigas serem consideradas isoladas e contínuas, apoiadas entre vigas ou em pilares. Considerando sempre apoios nas ligações entre os elementos e não engastes, não há contradição com o cálculo.

Para proporcionar a forma torcida do Turning Torso, cada piso gira 1,6 graus. Esse formato torcido pode ser eficaz para minimizar os efeitos do vento, mas ao analisar a estrutura em tempestades severas, descobriu que o edifício poderia se mover mais do que o normal no topo.

Conforme Sobecki (2016), o núcleo é um grande tubo feito de concreto armado contendo um diâmetro de 10,668 metros e 0,3048 metros de espessura, é a principal estrutura para sustentar as cargas. Dentro do núcleo estão as escadas e o elevador.

Sobecki, 2016 afirma que a estrutura de aço está na parte externa do edifício e em cada seção da estrutura se conecta a parte de baixo do bloco. A estrutura transfere as forças de cisalhamento das cargas de vento para o núcleo.

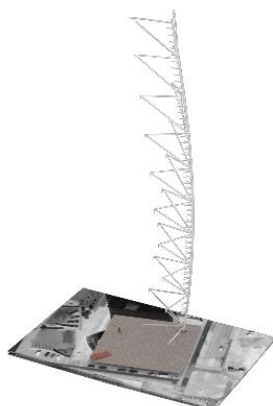


Figura 6 - Coluna de aço (steel spine); (Fonte: Sobecki 2016).

Sobecki, (2016), o formato de torção pode ser muito eficaz para aliviar os desprendimentos de vórtices por carga de vento nas laterais e minimizar as cargas de vento principal.

Material e Métodos

De modo a realizar um comparativo para analisar o desempenho entre o sistema de núcleo central com o sistema de pórtico, foi estudado o desempenho de duas estruturas com 10 pavimentos, com as mesmas dimensões, desprezando as questões arquitetônicas, considerando apenas o peso próprio dos elementos, e cada uma delas com os respectivos sistemas, ambos com um furo na laje representando a locação das escadas e elevador.

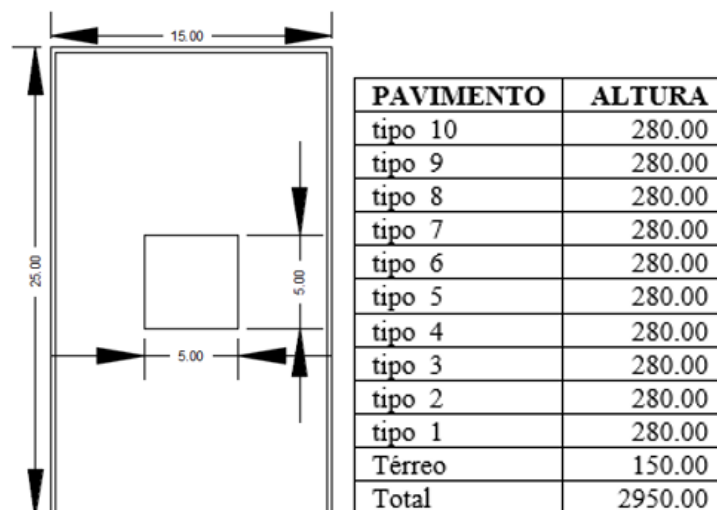


Figura 7 - Croqui das Estruturas (Fonte: Próprio Autor).

Para auxiliar no desenvolvimento do trabalho, foi necessário o uso do “software” Eberick para o desenvolvimento do projeto estrutural.

Segundo a Alto-Qi, Eberick em sua versão atualizada (2021), traz inúmeros recursos para elaboração de projetos estruturais, e bom desempenho para projetos de todos os portes. Permite exportar armaduras 3D para arquivos IFC, o que facilita a compatibilização com

outros projetos da edificação. O 3D pode ser exportado para um aplicativo Augin, e ser visualizado em realidade aumentada. Há ainda como importar os resultados de ensaio de túnel de vento no projeto e anexar na estrutura, e considerá-lo em diferentes direções, esse tipo de recurso é importante em estruturas esbeltas, onde o vento tem grande influência no seu comportamento. Segue a NBR 6120:2019, com os valores de cargas acidentais atualizados, trazendo maior segurança para o projeto segundo as normas. Ainda fornece diagramas dos esforços, deformação da estrutura, detalhamento da armadura, alguns relatórios de cálculos em arquivo Word.

Configuração das Estruturas

Ambas as estruturas foram lançadas, começando pelos pilares, seguido das vigas e lajes da edificação, levando sempre em consideração dos parâmetros de estado limites de serviço (ELS), e estados limite último. (ELU).

A estrutura 1 (Pórtico Rígido) foi composta por pilares com as mesmas dimensões de 25 cm x 40 cm, porém ao processar a estrutura, verificou-se que os pilares P6, P7, P18, P19 eram os mais solicitados, e exigiam seções maiores, então foi definido que os mesmos possuiriam seções de 30 cm x 40 cm. Já a estrutura 2 (Núcleo Rígido), foi composta por um pilar parede central de seção U com dimensões de 530 cm x 500 cm com 30 cm de espessura. Os demais pilares tinham as seções de 30 cm x 30 cm, mas ao fazer a verificação os pilares P6, P7, P15, P16, não foram dimensionados, para resolver este problema, a seção dos pilares retangulares foi aumentada para 30 cm x 35 cm somente no pavimento térreo, como mostra as figuras 8 e 9.

A estrutura de Pórtico tem vigas de dimensões 20 cm x 45 cm, mas foi necessário aumentar as seções das vigas V6 e V9 para 25 cm x 45 cm em todos os pavimentos, atingindo assim, a resistência necessária. Na estrutura 2 as vigas têm dimensões de 20 cm x 45 cm em toda a edificação, como mostra as figuras 8 e 9. Foram consideradas lajes maciças para às duas estruturas, ambas com 13 cm de espessura.

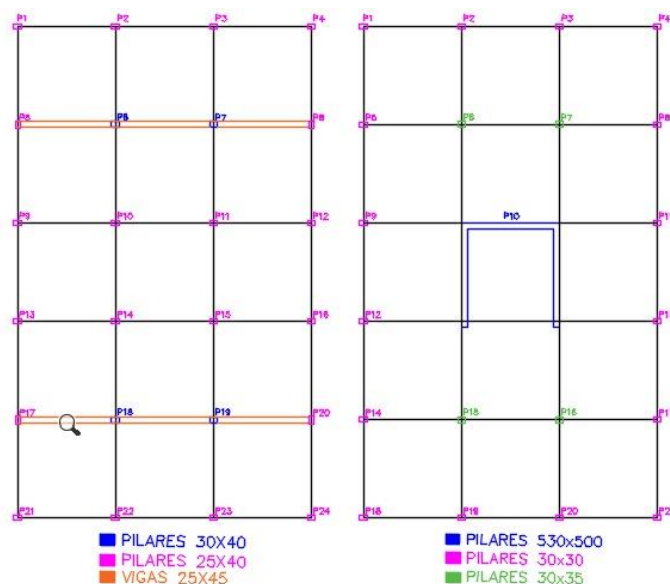


Figura 8 - Distribuição dos Elementos Estruturais com auxílio do AutoCad (Fonte: Próprio Autor).

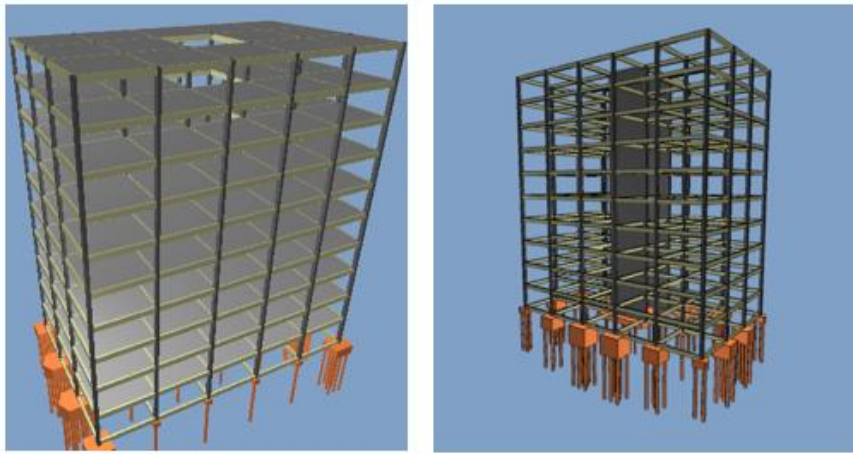


Figura 9 - Modelagem das Estruturas 1 e 2 com auxílio do Eberick (Fonte: Próprio Autor).

Para melhorar o desempenho da estrutura, foram alteradas as configurações de resistência do concreto das vigas, pilares, lajes e o cobrimento das armaduras, de acordo com a figura 10.

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-30	2.5 cm	2.5 cm	2.5 cm	Bitolas...
Pilares	C-40	2.5 cm	2.5 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	2 cm		2.5 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-35			4.5 cm	Bitolas...

Figura 10 - Configuração dos Elementos Estruturais (Fonte: Próprio Autor).

A velocidade do vento foi definida conforme o mapa de isopletas seguindo a localização do estado de São Paulo, mais especificamente na região mais crítica do estado, considerando 45 m/s, segundo as figuras abaixo.

Velocidade: 45 m/s Mapa...

Aplicação do Vento

Ângulo: 0°

Casos: 4

Forças médias...

Topografia

Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento (S1 = 1.1)

Vales profundos, protegidos de todos os ventos (S1 = 0.9)

Demais casos (S1 = 1.0)

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical: Entre 20 e 50 m

Rugosidade do terreno: Categoria IV

Fator Estatístico S3

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

Figura 11 - Configuração das Ações do Vento de 45 m/s à 0° (Fonte: Próprio Autor).


Vento

Velocidade m/s

Aplicação do Vento

Ângulo °

Casos



Topografia

Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento (S1 = 1.1)

Vales profundos, protegidos de todos os ventos (S1 = 0.9)

Demais casos (S1 = 1.0)

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical

Rugosidade do terreno

Fator Estatístico S3

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

Figura 12 - Configuração das Ações do Vento de 45 m/s à 60° (Fonte: Próprio Autor).

Resultados e Discussão

Segundo Fonseca, 2019 os estados limites se dão quando a estrutura apresenta um desempenho inapropriado ao que se espera de uma estrutura.

Quando uma edificação está sendo dimensionada é necessário considerar o estado limite último (ELU) que se caracteriza pela paralisação parcial ou total da estrutura quando está submetida a este estado limite, geralmente ocasionada por perda de equilíbrio total ou parcial da estrutura, deformação plástica excessiva, ruptura e instabilidade dinâmica. O estado limite de serviço (ELS), está relacionado a durabilidade da estrutura, são ocasionados quando os efeitos estruturais não correspondem às condições para uso normal da edificação, um desses efeitos são o de vibração excessiva que causam desconforto e deformações excessivas que afetam o uso.

Deslocamentos das estruturas para vento de 45 m/s à 0 graus

De modo a analisar o desempenho das estruturas quando submetidas às ações do vento, dimensionou-se primeiramente com incidência de vento a zero graus e velocidade de 45 m/s, em seguida submeteu-se às mesmas estruturas a 60 graus com velocidade de 45 m/s.

Observa-se na figura 13, que na estrutura 1 (Pórtico Rígido), o deslocamento devido à ação do vento na direção X (na largura de 15 metros) foi de 0,85 cm, enquanto na estrutura 2 (Núcleo Central) foi de 0,86 cm, ou seja, ambos os deslocamentos se mantiveram praticamente iguais, porém na direção Y (no comprimento de 25 metros) o deslocamento do Pórtico 1 foi de 0,57 cm, já o sistema de núcleo central teve um deslocamento de 0,37 cm, mostrando que a estrutura 2 (núcleo) mostrou melhor desempenho na direção Y.

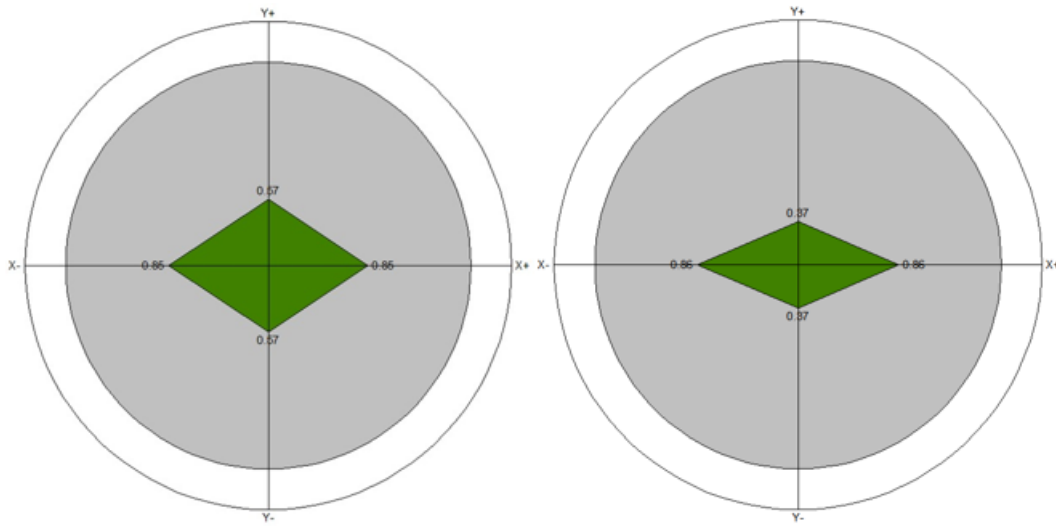


Figura 13 - Deslocamentos Horizontais devido à Ação do Vento à 0° nas Estruturas 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

Pode-se notar na figura 14, que com a mudança do ângulo da ação do vento (60°), a estrutura de núcleo central obteve melhor desempenho em ambas as direções ($x=0,70$ cm e $y=0,90$ cm), quando comparado com o desempenho do pórtico rígido ($x=0,99$ cm e $y=1,01$ cm).

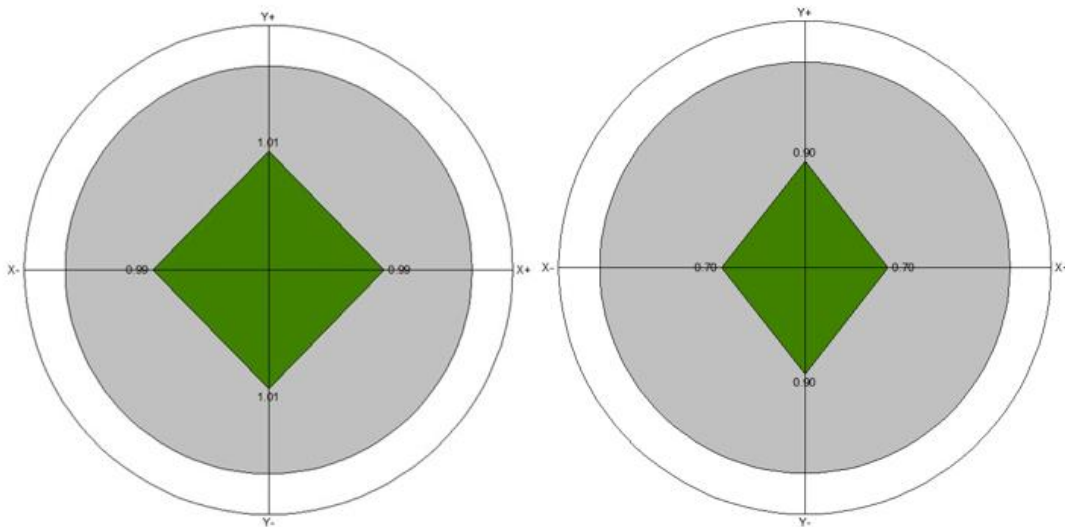


Figura 14 - Deslocamentos Horizontais devido à Ação do Vento à 60° nas Estruturas 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

Estado Limite Último (ELU)

A figura 15 apresenta as barras com maior deslocamento da estrutura 1 e 2, e na figura 16 mostra a vista frontal do deslocamento de cada estrutura em escala aumentada em 100%.

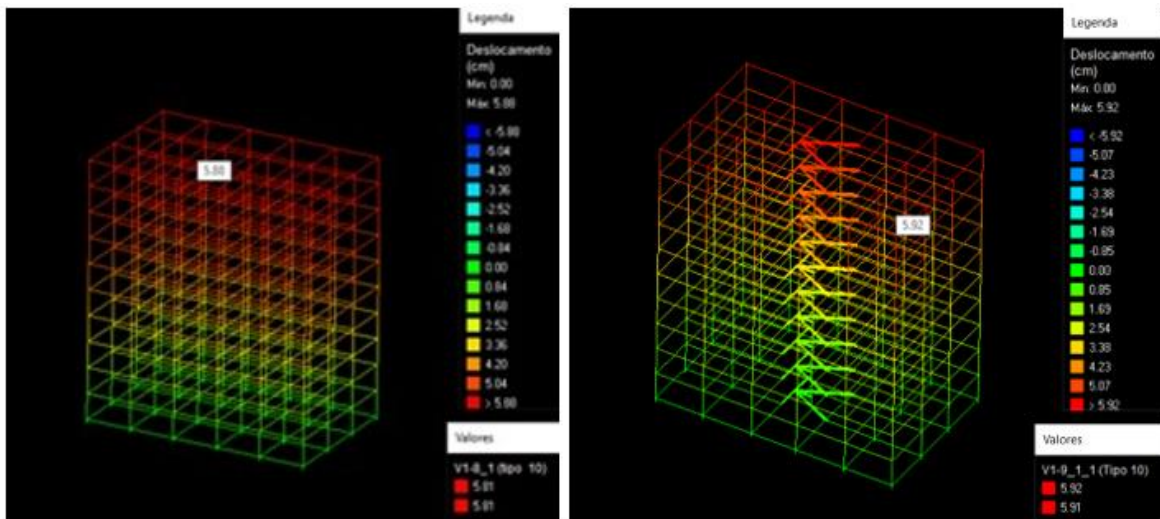


Figura 15 - Deslocamento ELU da Estrutura 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

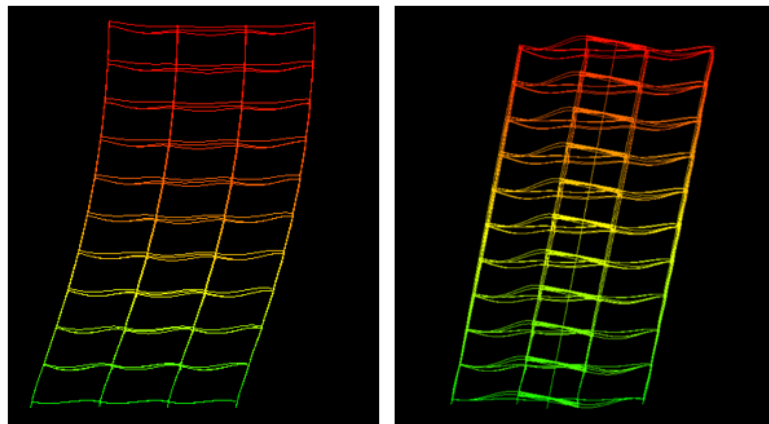


Figura 16 - Deslocamento da Vista Frontal da Estrutura 1 e 2 em escala aumentada 100% (Fonte: Próprio Autor).

Analisando às duas estruturas, pode-se verificar em seu estado limite último que a estrutura 1 (Pórtico Rígido) teve um deslocamento máximo de 5,88 cm e na estrutura 2 (Núcleo Central) um deslocamento máximo de 5,92 cm, apesar de a estrutura de pórtico ter um valor de deformação menor do que a estrutura com núcleo, pode-se observar que de acordo com a legenda, os pavimentos estão mais instáveis, comparado à estrutura 2, pois os pavimentos da estrutura 2 apresentam mais estabilidade, apresentando maior deformação próximo ao topo, diferente da estrutura 1.

Ainda comparando as edificações nota-se que, na estrutura 1 houve mudança de cor praticamente a cada pavimento, indicando o aumento do deslocamento pavimento a pavimento. Já na estrutura 2 nota-se que a mudança de cor ocorre a cada dois ou três pavimentos, indicando que o deslocamento aumenta de forma branda.

Estado Limite de Serviço (ELS)

A figura 17 apresenta as barras com maior deslocamento da estrutura 1 e 2, e na figura 18 mostra a vista frontal do deslocamento de cada estrutura em escala aumentada em 100%.

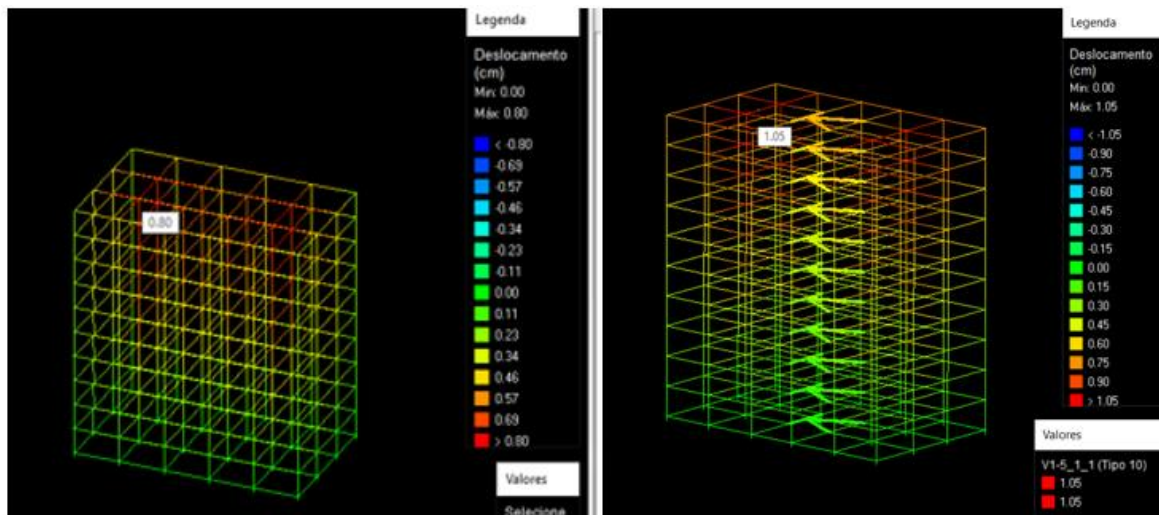


Figura 17 - Deslocamento ELS da Estrutura 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

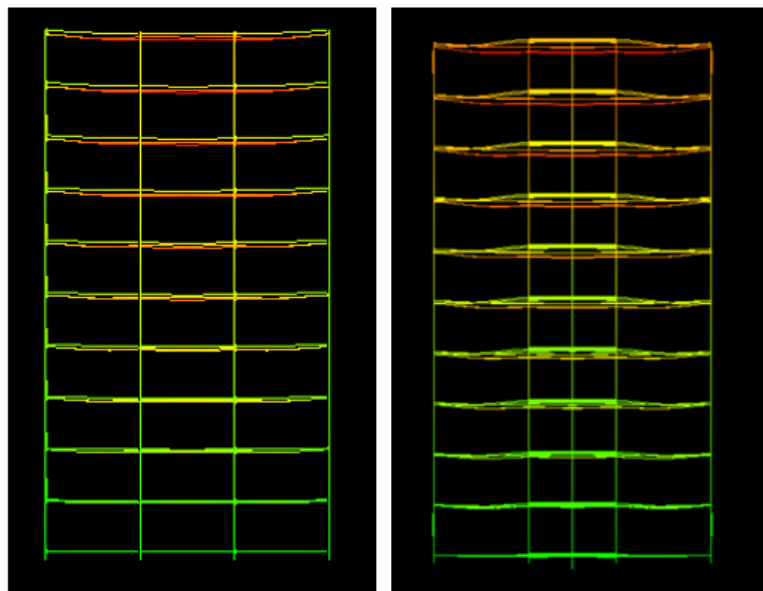


Figura 18 - Deslocamento da Vista Frontal da Estrutura 1 e 2 em escala aumentada 100% (Fonte: Próprio Autor).

Em seu estado limite de serviço a estrutura 1 demonstrou um deslocamento imediato máximo de 0,80 cm, e a estrutura 2 um deslocamento imediato máximo de 1,05 cm, ainda que a estrutura 1 tenha apresentado menor deslocamento notou-se que a mesma passa a ter variações logo nos primeiros pavimentos, enquanto na estrutura 2 os deslocamentos passam a ter mais variações a partir do quarto pavimento.

Observou-se que ao contrário dos deslocamentos de estado limite último as cores são bem mais claras, o que indica que os deslocamentos são menores, mostrando que em serviço a estrutura apresenta melhor desempenho. Porém, na estrutura 1 nota-se que a intensidade das cores variou logo nos primeiros pavimentos da estrutura toda, enquanto na estrutura 2 a mudança acontece a partir do quinto pavimento e vai se intensificando para os demais, principalmente nas bordas, e próximo ao núcleo constata-se à incidência de momentos negativos.

Estado Limite Último (ELU), deslocamentos das estruturas para vento de 45 m/s à 60 graus.

A figura 19 apresenta as barras com maior deslocamento da estrutura 1 e 2, e na figura 20 mostra a vista frontal do deslocamento de cada estrutura em escala aumentada em 100%.

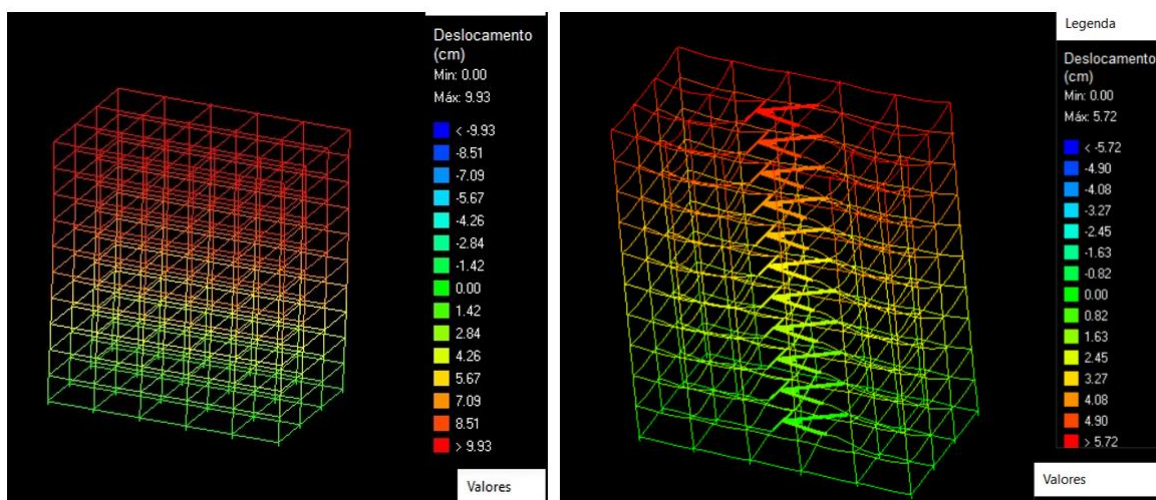


Figura 19 - Deslocamento ELU da Estrutura 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

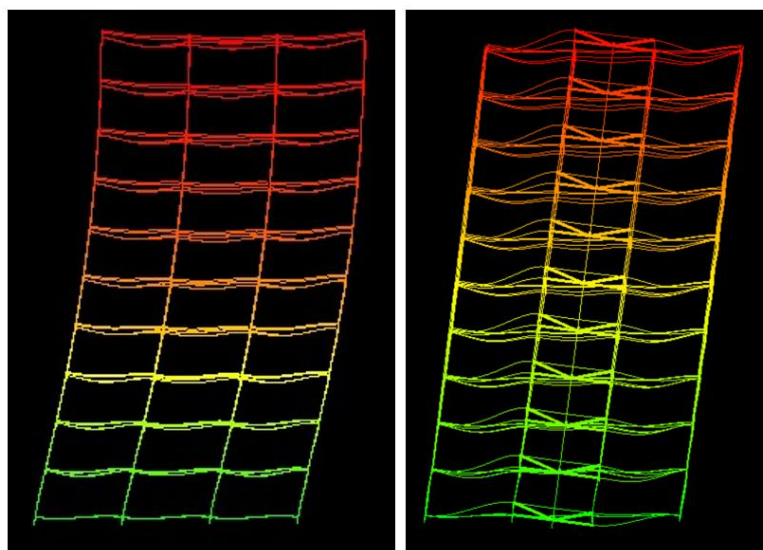


Figura 20 - Deslocamento da Vista Frontal da Estrutura 1 e 2 em Escala Aumentada 100% (Fonte: Próprio Autor).

Ao submeter as estruturas à ação do vento com velocidade de 45 m/s à (60°), percebe-se que o sistema de núcleo central obteve melhor desempenho com deslocamento máximo de 5,72 cm, comparado à estrutura de pórtico que teve um deslocamento máximo de 9,93 cm.

Estado Limite de Serviço (ELS)

A figura 21 apresenta as barras com maior deslocamento da estrutura 1 e 2, e na figura 22 mostra a vista frontal do deslocamento de cada estrutura em escala aumentada em 100%.

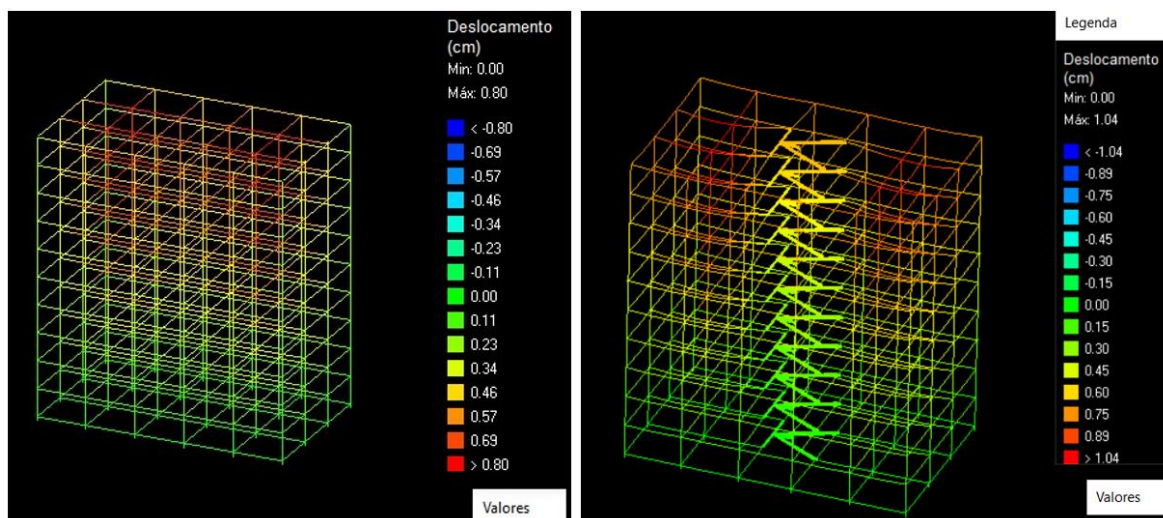


Figura 21 - Deslocamento ELS da Estrutura 1 e 2 (Fonte: Próprio Autor).

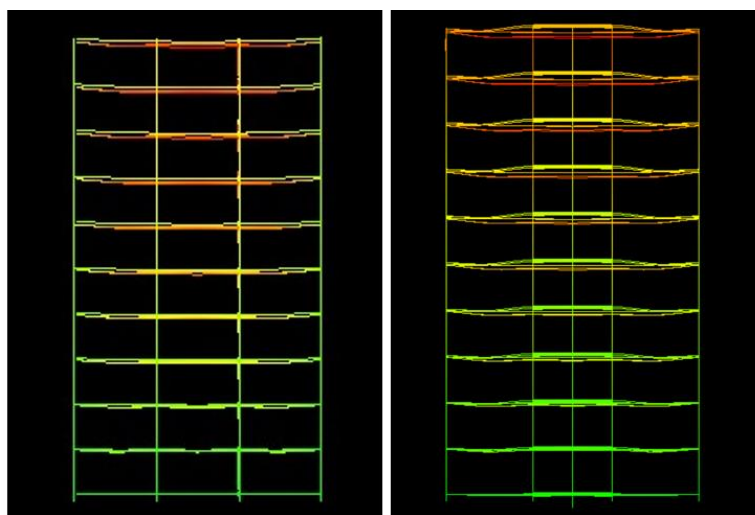


Figura 22 - Deslocamento da Vista Frontal da Estrutura 1 e 2 em escala aumentada 100% (Fonte: Próprio Autor).

Analisando o desempenho das estruturas em seu estado limite de serviço pode-se observar que novamente o sistema de núcleo central obteve maior deslocamento, comparado à estrutura de pórtico, embora a estrutura 2 tenha apresentado maior deslocamento, ele passa a apresentar maior variação a partir do terceiro pavimento, diferente da outra estrutura que apresenta variação logo no primeiro pavimento.

Conclusões

Fica evidente que ao trabalhar com edifícios altos, a ação do vento é um fator que deve ser analisado com cautela, visto que estruturas esbeltas estão mais sujeitas aos efeitos desta ação.

Após as análises dos resultados das duas estruturas, pode-se notar que ao dimensionar o pórtico rígido, sujeita às mesmas ações da estrutura de núcleo central, houve significativas variações nas seções dos elementos estruturais, os pilares P6, P7, P18, P19 ficaram com seções retangulares de 30 cm x 40 cm em todos os pavimentos, e os demais pilares com seções retangulares de 25 cm x 40 cm, as vigas com seção retangulares de 20 cm x 45 cm e 25

cm x 45 cm, enquanto na estrutura de núcleo rígido as seções dos pilares sofreram variações somente no pavimento térreo, onde os pilares P6, P7, P15, P16 ficaram com seções retangulares de 30 cm x 35 cm e os demais com 30 cm x 30 cm.

Examinado os valores apresentados nas simulações das estruturas, compreendeu-se que o núcleo rígido mostrou melhor desempenho ao ser submetido às ações do vento a um ângulo de 60°, principalmente na verificação do estado limite último, chegando a deslocar praticamente a metade do deslocamento da estrutura de pórtico rígido, o que demonstra que conforme muda o ângulo da ação do vento a estrutura se comporta de forma diferente, podendo minimizar ou não os efeitos que esta ação causa à estrutura.

Para a execução de um edifício deste porte, sendo utilizado um sistema de pórtico rígido, fica claro que os elementos estruturais (vigas, lajes e pilares), apresentam dimensões maiores, o que pode ser prejudicial quando relacionado à arquitetura, diferente do sistema de núcleo central.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus e à Nossa Senhora da Aparecida por ter nos dado a oportunidade de estarmos aqui hoje.

Aos familiares de Mariane Marques, agradeço à minha mãe Ana Esmeralda Marques e aos irmãos, Anne Frank, Mayana Marques, Júnior Reis por acreditar, incentivar e dar todo suporte necessário para que esta conquista pudesse se tornar realidade.

Aos familiares de Renata Silva, agradeço à minha mãe Luciana de Almeida e meu irmão Rian Silva, por ter sempre acreditado e dado todo apoio durante essa trajetória, ao esposo Bruno Felipe da Silva por nunca ter medido esforços para que esse momento se tornasse realidade, aos filhos Arthur Henrique e Pedro Henrique, por serem a motivação desse sonho.

Agradecemos aos orientadores Me. Marcelo Cavalcanti da Silva, e Prof. Esp. Eduardo José Gava, por toda paciência e comprometimento para nos orientar a fazer sempre o melhor, à Professora Me. Cândida Maria Costa Baptista que nos guiou durante todo o período deste trabalho de graduação, aos demais docentes que fizeram parte do processo de formação, ao Coordenador do curso Marcelo Silva, por sempre estar à disposição para nos ajudar. Agradecemos a todos os amigos e colegas de faculdade que de alguma forma fizeram parte deste processo. E em especial ao Professor Danilo Amorim do curso de Eberick da escola Finamor Arquitetura por dedicar seu tempo em instruir e auxiliar no manuseio do “software” utilizado no projeto.

Referências Bibliográficas

AUTOQI, Eberick. **O MUNDO MUDOU E O EBERICK TAMBÉM COLABORATIVO. INTEGRADO. IMERSIVO.** 2021. Disponível em: <<https://hotsite.altoqi.com.br/eberick-2021/>>

FONSECA, Yasmin Fortes. **COLEÇÃO MANUAIS DE ENGENHARIA CIVIL – Resistência dos Materiais (Análise Estrutural).** 2019. Disponível em: <<https://www.editora2b.com.br/>>

FIGUEIREDO, Gonçalo JARDIM. **UMA VISÃO ESCULTÓRICA DA OBRA DE SANTIAGO CALATRAVA.** 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10174/10902>>

JUNIOR, Edgard Sousa. **ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE NÚCLEOS ESTRUTURAIS E LAJES EM EDIFÍCIOS ALTOS.** 2001. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/ede8/87bc71758d9bf5f0ecdc305cf2392b0a584d.pdf>>

PEREIRA, Ana Claudia de OLIVEIRA. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA MODELAGEM ESTRUTURAL DO NÚCLEO DOS PAINÉIS DE CONTRAVENTAMENTO DE EDIFÍCIOS ALTOS. 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22112017-104958/publico/Dissert_Pereira_AnaCO.pdf>

POLONINI, Flávia Biccas da SILVA. A MODELAGEM PARAMÉTRICA NA CONCEPÇÃO DE FORMAS CURVELÍNEAS DA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/15339>>

SILVA, Eduardo Francisco Duarte PINTO. DESEMPENHO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA - Comparação entre métodos expeditos e modelação computacional. 2010 Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57631/1/000143478.pdf> >

SOBECKI, Katie Bodolus Cameron Burke Cameron Christian Lance Kubiak Lauren. TURNING TORSO ARCH631 Structural Case Study. 2016 Disponível em: < <https://www.slideshare.net/youthelast/turning-torso-58098757> >

WAHRHAFTIG, Alexandre de MACEDO. AÇÃO DO VENTO - Em estruturas esbeltas com efeito geométrico. 2017 Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br>>