

ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO VERIFICANDO O DESLOCAMENTO LATERAL DE ESTRUTURAS CONTRAVENTADAS E NÃO CONTRAVENTADAS EM AÇO

Rodrigo Dutra Ril (1); Prof.Me. Márcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)rodrigoril@hotmail.com, (2)marciovito@uol.com.br

RESUMO

A necessidade de construir obras cada vez mais esbeltas acompanhada do menor consumo de aço fez com que sistemas contraventados fossem uma forte alternativa, tornando-se presente principalmente em edificações de grande porte. Dessa forma o presente estudo visa comparar a eficiência do uso de diversos modelos de sistemas contraventados utilizando como referência o sistema de pórticos rígido. Foi adotado para todos os sistemas, uma edificação em aço de 5 pavimentos como padrão e o carregamento seguiu o que prescreve a norma NBR 6120:1980. Entre os sistemas contraventados foram testados os que possuem formatos de X, V, V invertido, K e os formados com apenas uma barra diagonal. Diante deste comparativo pode ser observado que o sistema apórticado teve um consumo 29,66% maior que os sistemas contraventados e entre os sistemas contraventados o formado com apenas uma barra diagonal foi o que obteve o menor consumo de aço aumentando o consumo de toda a edificação em apenas 2,51%.

Palavras-Chave: Estrutura, Contraventamento, Deslocamento, Pórtico

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão urbana e a necessidade cada vez maior da ocupação de espaços em função do alto custo das edificações, fazem com que investidores optem por construções cada vez mais altas, econômicas e rápidas de se executar. Com o aumento da altura da estrutura, aumenta a superfície exposta à carga de vento, que atinge a edificação e causa desconforto a seus habitantes (KRISHNA; SHARMA; JAIN, 2017). Um edifício ideal deveria ser simétrico na distribuição de sua massa e as seções de seus elementos aumentariam de cima para baixo o que tornaria a estrutura menos econômica devido a sua necessidade de segurança (SAHIJWANI; ZALA, 2016)

O sistema contraventado é capaz e econômico em comparação com outros sistemas resistentes à carga de vento. À medida que os membros da estrutura são conectados para formar uma treliça trabalhando em esforço axial de tração e compressão, requerendo seções menores nos elementos para fornecer rigidez lateral e resistência à estrutura (KRISHNA; SHARMA; JAIN, 2017).

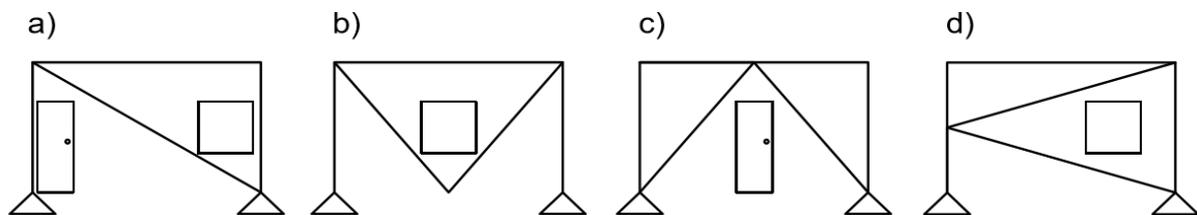
Segundo Ram (2016) a principal função do contraventamento é fornecer mais ductibilidade à estrutura para que ela possa se movimentar sem colapsar abruptamente. O contraventamento de um pórtico em uma estrutura de aço é importante para que a edificação possa resistir às cargas laterais como a força do vento.

Quando uma edificação está sujeita a um carregamento lateral causado por uma carga de vento, o movimento oscilatório pode ocasionar desconforto em seus ocupantes e no que diz respeito ao estado limite da estrutura, as deflexões devem ser limitadas para se evitar o efeito P-delta que pode ocasionar o colapso da edificação. As barras diagonais são consideradas as mais eficientes na resistência às forças laterais devida ao vento, pois formam uma treliça tendo que resistir apenas às cargas de tração e compressão (SIDDIQI; HAMEED; AKMAL, 2014).

Segundo Bastos (2014) em edificações onde não há subsistemas de contraventamento a estabilidade deve ser assegurada através de pórticos rígidos, devendo ser incluídas ligações entre vigas e pilares, escolhidas de modo a criar pórticos de rigidez adequada dentro da estrutura global.

Uma das desvantagens do sistema aporticado para estruturas de aço é o alto custo de conexões resistentes a momentos, outra desvantagem é a necessidade de seções mais robustas com maior inércia para resistir às deformações (FRANCA, 2003). Alguns modelos de contraventamento podem minimizar a obstrução dos vãos e facilitar a compatibilização com o projeto arquitetônico (SIDDIQI; HAMEED; AKMAL, 2014). A figura 01 demonstra quatro possibilidades de utilização de vãos contraventados, na primeira possibilidade (a) pode-se utilizar a área superior e inferior para a colocação de uma porta e de uma janela. Na segunda e terceira opção pode-se usar um contraventamento em V (b) e V invertido (c) para a colocação de uma janela e de uma porta respectivamente e na quarta alternativa (d) pode-se colocar uma janela no maior vão do contraventamento em formato de K.

Figura 1 – Utilização de vãos contraventados.

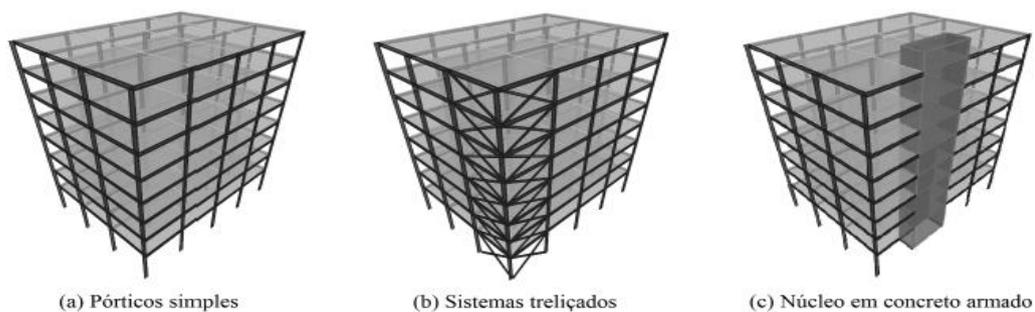


Fonte: Do autor (2017)

O sistema de apoio lateral mais simples é o contraventado com duas barras diagonais formando um X simétrico, este sistema de reforço ganhou fama após a construção do Centro John Hancock projetado pelo arquiteto Bruce Graham e pelo engenheiro Fazlur Kahn em Chicago em 1969 (JACOT, PAGONAKIS, SHOPE, FIVET, OCHSENDORF, 2017).

A NBR 8800:2008 classifica as estruturas quanto aos deslocamentos laterais de duas formas, estruturas contraventadas e não contraventadas. No processo de análise da estrutura é possível identificar diversas subestruturas que por meio de sua rigidez são responsáveis por resistir à grande parte das parcelas de esforços laterais (MATOS, 2014). A figura 02 demonstra alguns exemplos.

Figura 2 – Exemplos de contraventamentos.



Fonte: (Bastos, 2014)

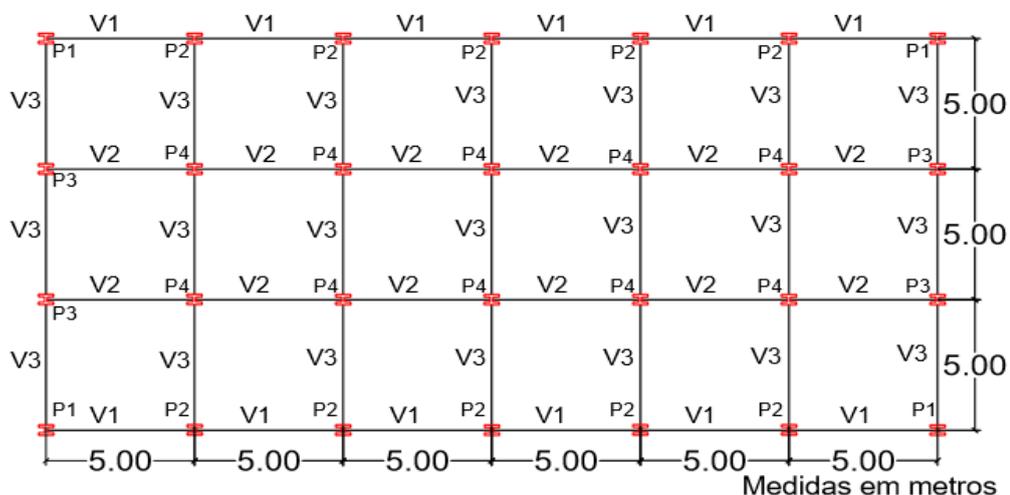
Este artigo tem por objetivo analisar os dois métodos mais utilizados para se assegurar a estabilidade de uma edificação, que são: sistema contraventado com treliças e sistema não contraventado formado por pórticos rígidos, comparando sua eficácia em resistir aos esforços laterais e quanto ao seu consumo de aço, visando obter a melhor escolha para o sistema de travamento de uma estrutura metálica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foi projetada uma edificação com cinco pavimentos utilizando perfis de aço ASTM A-36 da Açominas. A estrutura tem pé direito de 3 metros totalizando 15 metros de altura, os vãos entre pilares são de 5 metros para toda a edificação (figuras 03 e 04). Para as cargas foi utilizada a norma brasileira NBR 6120:1980, considerando uma carga de 2 kN/m² para escritórios com salas de uso geral com banheiro. A laje do quinto pavimento foi considerada como um terraço sem acesso ao público com uma carga de 2 kN/m². As paredes externas e internas são todas em alvenaria e as lajes são em steel deck com peso próprio de 2,5 kN/m².

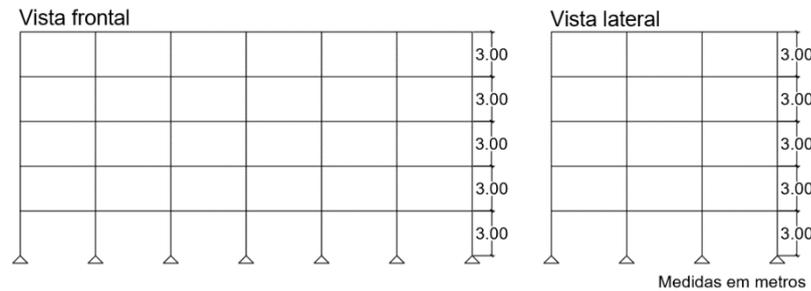
Foram feitas seis simulações no software de análise matricial de estruturas, Visual Barras desenvolvido pela Etools da Universidade de Passo Fundo para verificar a resistência aos esforços laterais causados pela força do vento, a análise matricial determina reações, deslocamentos e esforços de estruturas como treliças e pórticos planos. A primeira análise levou em consideração que a estrutura teve todas as suas ligações rígidas, as outras cinco foram contraventadas com barras diagonais considerando suas conexões como rotuladas. Foram contraventados um vão do primeiro ao último pavimento em cada uma das quatro faces da edificação.

Figura 3 – Planta baixa da edificação



Fonte: Do autor (2017)

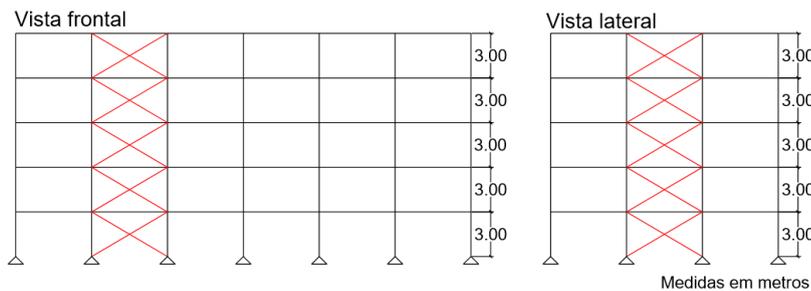
Figura 4 – Vista frontal e lateral



Fonte: Do autor

A primeira forma de contraventamento testada foi a mais comum de todas, formada com duas barras diagonais com o formato da letra X (figura 05).

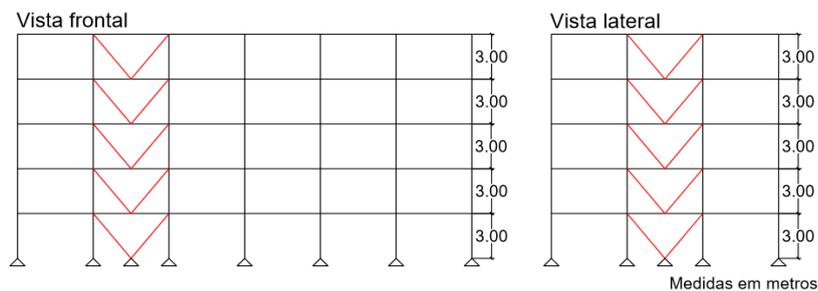
Figura 5 – Contraventamento em forma de X



Fonte: Do autor (2017)

A segunda forma que foi testada de contraventamento também utiliza duas barras diagonais, só que formando a letra V (figura 06).

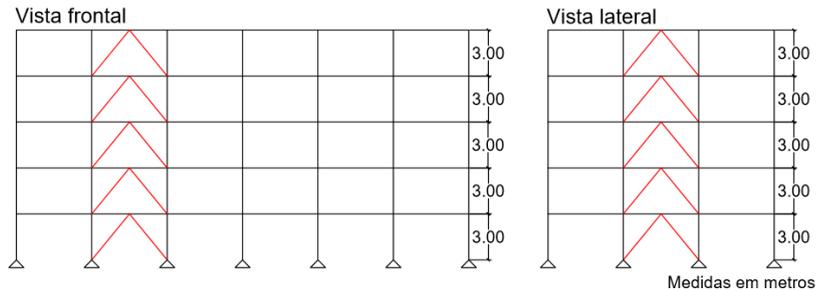
Figura 6 – Contraventamento em forma de V



Fonte: Do autor (2017)

A terceira forma de contraventamento foi a inversa da anterior formando um contraventamento conhecido como V invertido (figura 07).

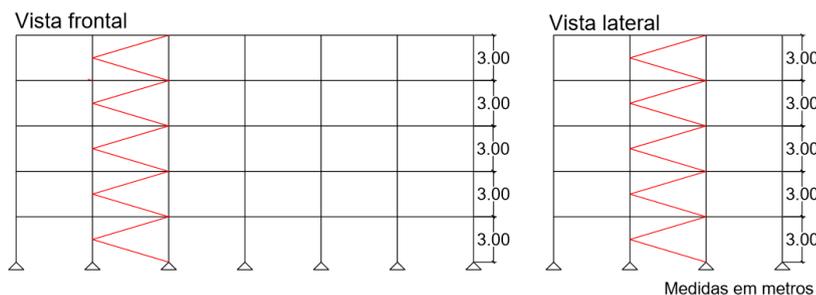
Figura 7 – Contraventamento em forma de V invertido



Fonte: Do autor (2017)

A penúltima forma de contraventamento que foi testada possui também duas diagonais, formando a letra K (figura 08).

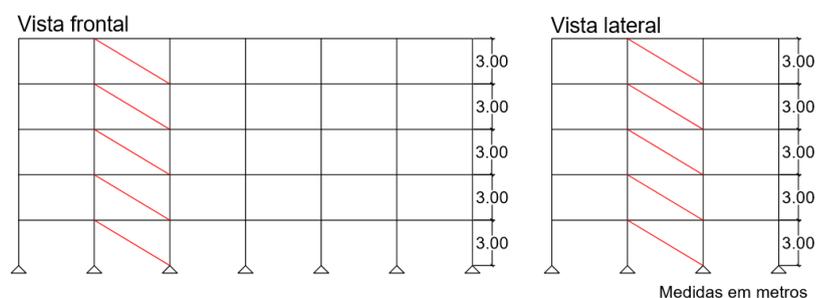
Figura 8 – Contraventamento em forma de K



Fonte: Do autor (2017)

A última forma de contraventamento testada foi formada apenas por uma diagonal, tendo que resistir as forças dos ventos tanto a tração quanto a compressão (figura 09).

Figura 9 – Contraventamento com uma diagonal

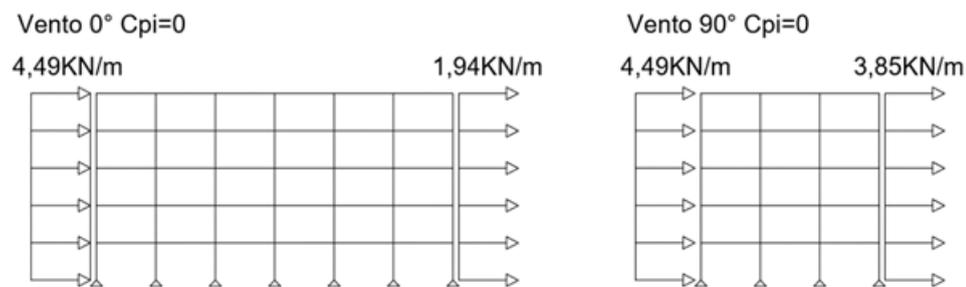


Fonte: Do autor (2017)

As cargas de vento foram dimensionadas de acordo com a NBR 6123:1988 utilizando a velocidade básica de 45 m/s da região sul de Santa Catarina de acordo com o gráfico

de isopletras da norma, resultando em uma pressão dinâmica de 1,29 kN/m². A figura 10 demonstra os esforços resultantes em cada pórtico da edificação.

Figura 10 – Esforços resultantes da força do vento



Fonte: Do autor (2017)

Os elementos estruturais foram dimensionados de acordo com a NBR 8800:2008, as vigas e pilares foram agrupados de acordo com a área de influência de cargas. As vigas V1 recebem cargas da laje por apenas um lado, as vigas V2 recebem cargas da laje por ambos os lados, as vigas V3 não recebem carga de laje. Os pilares P1 recebem cargas das vigas V1 e V3, os pilares P2 recebem cargas duas vezes da viga V1 e uma vez da viga V3, os pilares P3 recebem cargas duas vezes das vigas V3 e uma vez das vigas V2, e por fim os pilares P4 por serem internos recebem cargas duas vezes das vigas V2 e duas vezes das vigas V3, como indicou-se na figura 05. A tabela 01 mostra os perfis dimensionados para cada grupo de elementos.

Tabela 1 – Perfis dimensionados para a estrutura

Perfis calculados (Açominas)						
Elementos	Perfil	Área (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	h (mm)	B _f (mm)
V1	W460x60,0 kg/m	76,2	25652	1292	455	153
V2	W460x60,0 kg/m	76,2	25652	1292	455	153
V3	W250x25,3 kg/m	32,6	3473	149	257	102
P1	W200x46,1 kg/m	58,6	4543	1535	203	203
P2	W200x46,1 kg/m	58,6	4543	1535	203	203
P3	HP250x62,0 kg/m	79,6	8728	2995	246	256
P4	HP250x62,0 kg/m	79,6	8728	2995	246	256

Fonte: Do autor (2017)

A combinação de cargas foi feita de forma agrupada de acordo com a NBR800:2008, utilizando coeficiente de majoração de 1,4 para cargas permanentes, acidentais e variáveis e um coeficiente de ponderação de 0,6 para cargas variáveis.

1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 02 abaixo demonstra os resultados obtidos através do software Visual Barras para o vento de 90°. A primeira coluna indica a forma de estabilização da estrutura, a segunda, o perfil utilizado para os sistemas contraventados, a terceira demonstra os deslocamentos máximos obtidos no topo da estrutura e entre pavimentos consecutivos, a quarta, o consumo de aço para contraventar um vão em uma face da edificação e o consumo total considerando as quatro faces contraventadas. A quinta coluna demonstra os limites estabelecidos pela NBR 8800:2008. O limite para o deslocamento do topo é de $H/400$, sendo H a altura da edificação que neste caso são 15 metros e o limite para deslocamento entre pisos é de $h/500$, sendo h o pé direito do pavimento que para esta edificação é de 3 metros. Os sistemas de travamentos em forma de K, com uma barra diagonal e pórtico rígido foram redimensionados por não atenderem a norma.

Tabela 2 – Deslocamentos causados pelo vento a 90°.

SISTEMA DE CONTRAVENTAMENTO	PERFIL UTILIZADO	DESLOCAMENTOS MÁXIMOS (mm)		CONSUMOS DE AÇO (kg)		DESLOCAMENTOS MÁXIMOS NBR 8800:2008 (mm)	
		TOPO	ENTRE PAVIMENTOS	CONTRAVENTAMENTO	TOTAL DA EDIFICAÇÃO	TOPO	ENTRE PAVIMENTOS
EM FORMA DE X	W150X13 kg/m	16,21	4,29	758,02	75015,59	37,50	6,00
EM FORMA DE V	W150X13 kg/m	22,04	5,90	507,67	74014,16	37,50	6,00
EM FORMA DE V INVERTIDO	W150X13 kg/m	17,20	4,42	507,67	74014,16	37,50	6,00
EM FORMA DE K	W150X13 kg/m	23,92	7,38	678,62	74697,98	37,50	6,00
EM FORMA DE K	W150X18 kg/m	18,45	5,41	939,63	75220,00	37,50	6,00
COM UMA BARRA DIAGONA	W150X13 kg/m	24,90	6,75	379,01	73499,55	37,50	6,00
COM UMA BARRA DIAGONA	W150X18 kg/m	19,83	5,30	524,79	73791,10	37,50	6,00
SISTEMA APORTICADO	-	44,80	13,93	-	71983,50	37,50	6,00
SISTEMA APORTICADO	-	15,63	4,87	-	96480,00	37,50	6,00

Fonte: Do autor (2017)

A tabela 03 demonstra os resultados obtidos para o vento a 0°, por incidir em uma área menor o vento a 0° causa deslocamentos menores na estrutura não sendo necessário redimensionar os perfis de contraventamento nem a estrutura aporticada.

Tabela 3 – Deslocamentos causados pelo vento a 0°

SISTEMA DE CONTRAVENTAMENTO	PERFIL UTILIZADO	DESLOCAMENTOS MÁXIMOS (mm)		CONSUMOS DE AÇO (kg)		DESLOCAMENTOS MÁXIMOS NBR 8800:2008 (mm)	
		TOPO	ENTRE PAVIMENTOS	CONTRAVENTAMENTO	TOTAL DA EDIFICAÇÃO	TOPO	ENTRE PAVIMENTOS
EM FORMA DE X	W150X13 kg/m	6,23	1,70	758,02	75015,59	37,50	6,00
EM FORMA DE V	W150X13 kg/m	8,26	2,21	507,67	74014,16	37,50	6,00
EM FORMA DE V INVERTIDO	W150X13 kg/m	7,48	1,67	507,67	74014,16	37,50	6,00
EM FORMA DE K	W150X13 kg/m	9,09	2,48	678,62	75220,00	37,50	6,00
COM UMA BARRA DIAGONA	W150X13 kg/m	16,33	5,56	379,01	73791,10	37,50	6,00
SISTEMA APORTICADO	-	12,27	4,34	-	71983,50	37,50	6,00
SISTEMA APORTICADO	-	8,28	2,84	-	96480,00	37,50	6,00

Fonte: Do autor (2017)

Devido não atender a norma, a estrutura para o sistema de pórtico rígido teve que ser toda redimensionada para aumentar a sua resistência as deformações causadas pelas forças dos ventos. A tabela 04 abaixo demonstra como ficou a estrutura redimensionada para o sistema aporticado.

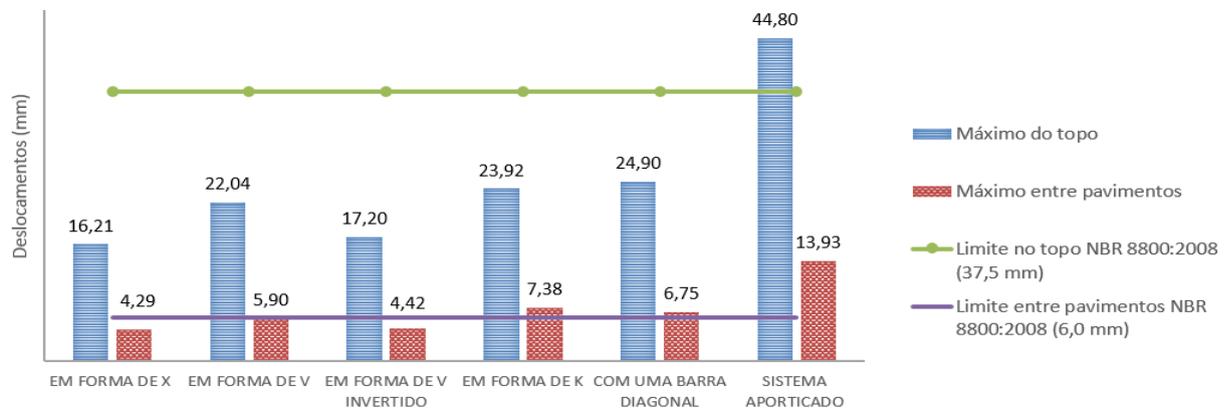
Tabela 4 – Perfis redimensionados para a estrutura

Perfis calculados (Açominas)						
Elementos	Perfil	Área (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	h (mm)	B _f (mm)
V1	W460x60,0 kg/m	76,2	25652	1292	455	153
V2	W460x60,0 kg/m	76,2	25652	1292	455	153
V3	W360x44,0 kg/m	76,2	25652	1292	455	153
P1	W250X89,0 kg/m	113,9	14237	4841	260	256
P2	W250X89,0 kg/m	113,9	14237	4841	260	256
P3	W250X89,0 kg/m	113,9	14237	4841	260	256
P4	W250X89,0 kg/m	113,9	14237	4841	260	256

Fonte: Do autor (2017)

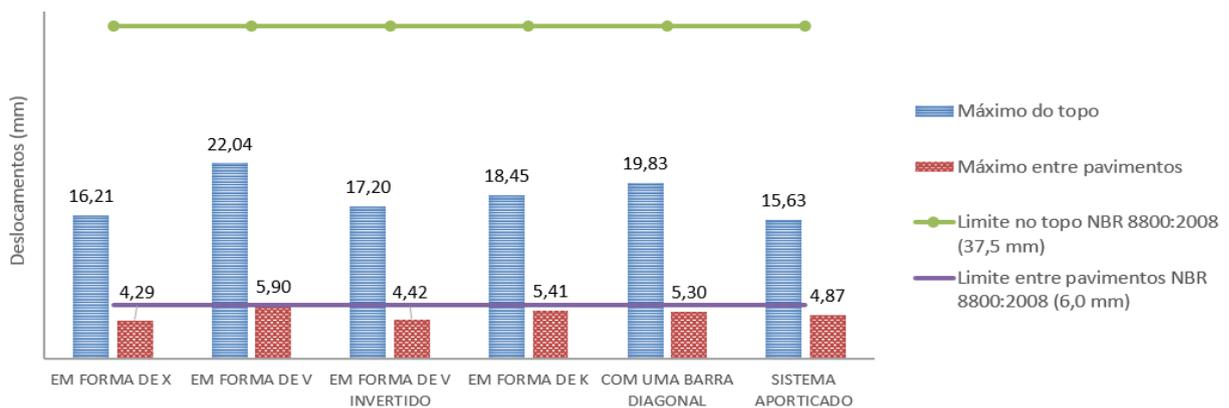
Os gráficos de barras abaixo comparam o deslocamento do topo da edificação para vento a 90° e 0° respectivamente (figuras 11 e 12), mostrando um desempenho muito superior do sistema contraventado em relação ao aporticado que ultrapassou o limite da norma para o deslocamento de topo e entre pisos para vento a 90°.

Figura 11 – Gráfico dos deslocamentos causados pelo vento a 90°



Fonte: Do autor (2017)

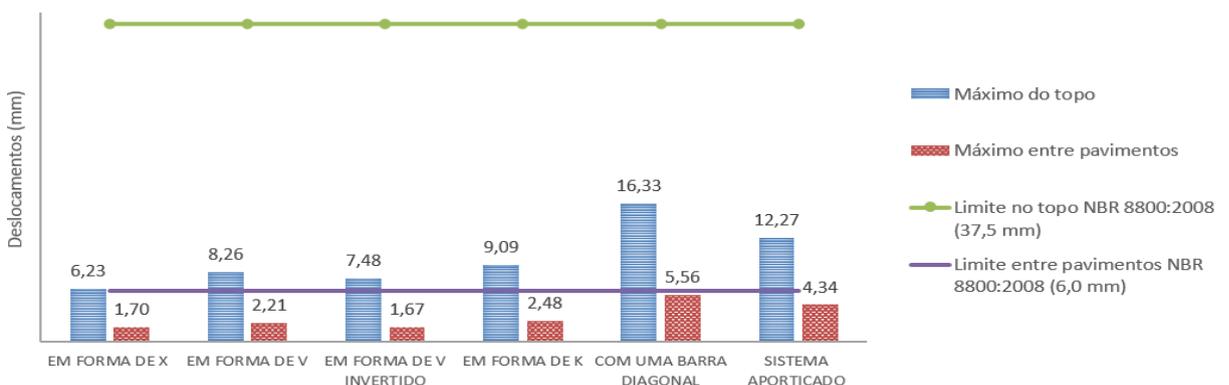
Figura 12 – Gráfico dos deslocamentos causados pelo vento a 0°



Fonte: Do autor (2017)

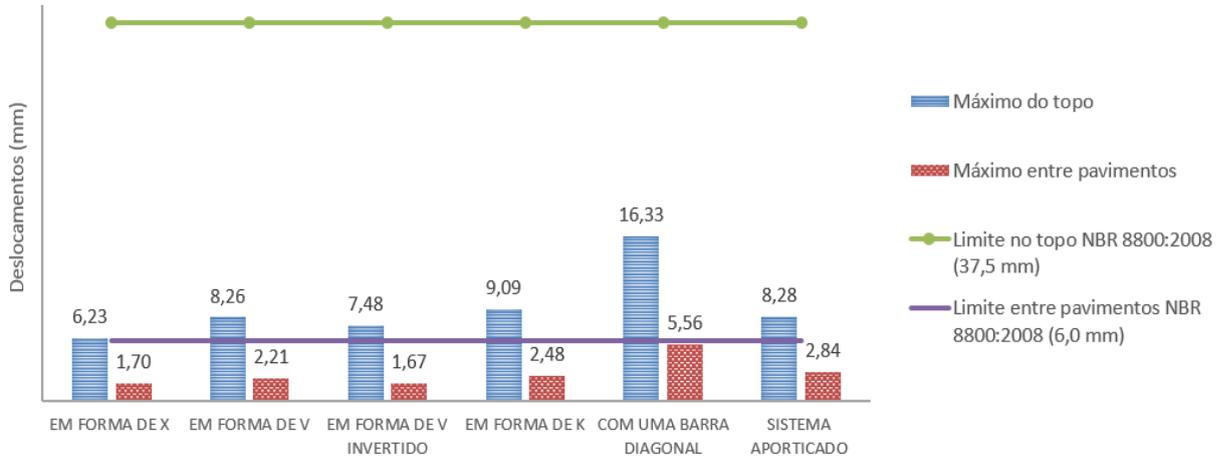
As figuras 13 e 14 apresentam os gráficos comparando os deslocamentos com os sistemas que haviam ultrapassado os limites da NBR 8800:2008 redimensionados.

Figura 13 – Gráfico dos deslocamentos causados pelo vento a 90°



Fonte: Do autor (2017)

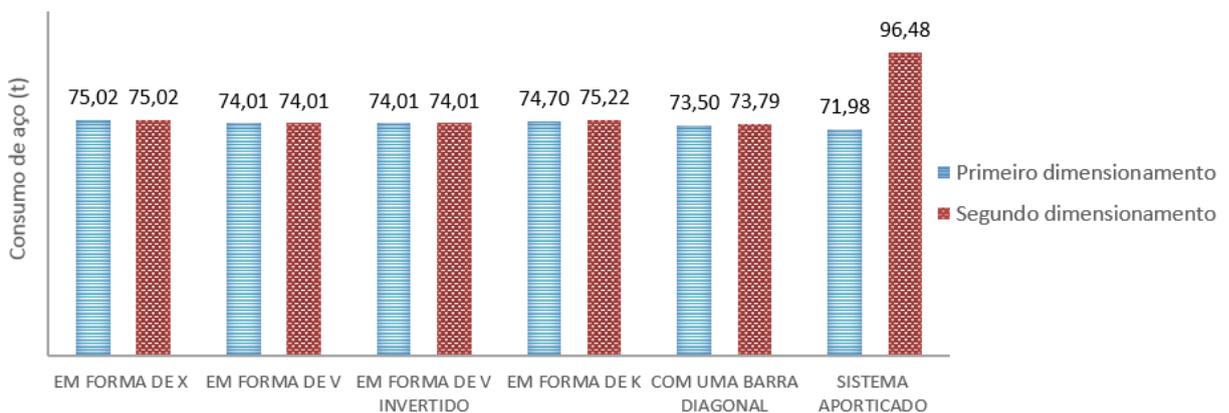
Figura 14 – Gráfico dos deslocamentos causados pelo vento a 0°



Fonte: Do autor (2017)

A figura 15 compara o consumo de aço de cada sistema de contraventamento com o sistema de pórticos rígidos levando em consideração o primeiro e o segundo dimensionamento da estrutura, o gráfico demonstra que o sistema aporticado possui um consumo expressivo em relação aos demais, consumindo cerca de 20 toneladas a mais em relação aos outros sistemas.

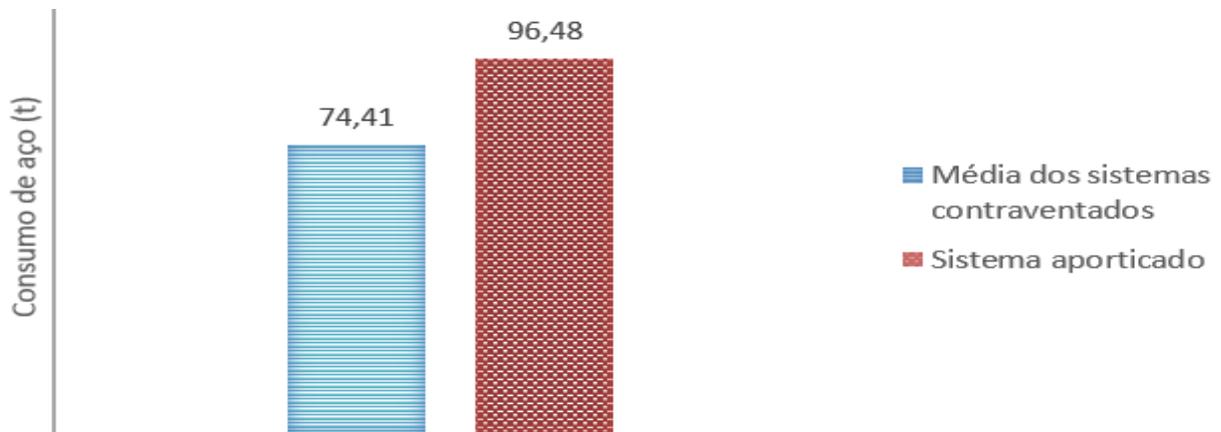
Figura 15 – Gráfico comparativo do consumo de aço de cada sistema



Fonte: Do autor (2017)

A figura 16 compara o consumo de aço do sistema aporticado com a média de consumo de aço dos sistemas contraventados. O sistema aporticado consumiu 22,07 toneladas a mais de aço que os sistemas contraventados dando um percentual de 29,66% a mais de consumo.

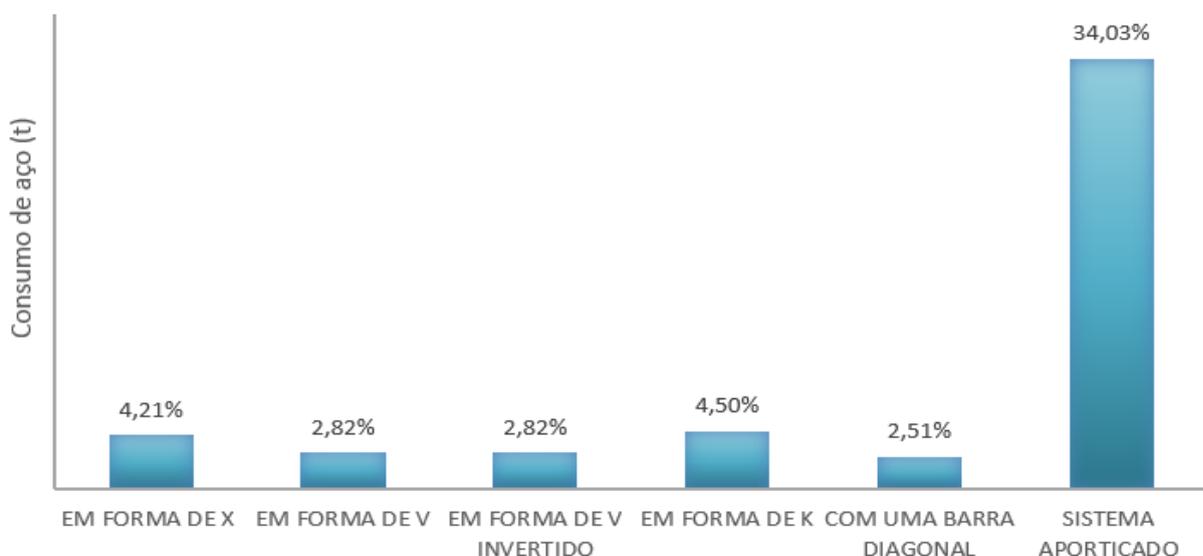
Figura 16 – Gráfico comparativo do consumo de aço do sistema aporticado com a média dos sistemas contraventados



Fonte: Do autor (2017)

A figura 17 compara o aumento do consumo de aço de cada sistema em relação a estrutura sem nenhum tipo de estabilização. O contraventamento em V invertido foi o mais econômico enquanto o contraventamento em K foi o que mais consumiu aço entre os contraventados. O sistema aporticado foi o menos vantajoso de todos consumindo cerca de 34,03% a mais de aço em relação a estrutura original.

Figura 17 – Gráfico comparativo do consumo de aço de cada sistema em relação a estrutura sem nenhum tipo de contenção



Fonte: Do autor (2017)

4. CONCLUSÕES

A utilização de contraventamentos faz com que a estrutura trabalhe de forma flexível não transferindo momento entre vigas e pilares, os elementos estruturais trabalham como treliças tendo que resistir apenas a tensões axiais de tração e compressão, fazendo com que a estrutura fique mais esbelta pois no sistema de pórticos rígidos as deformações da estrutura devem ser absorvidas pelo momento de inercia dos perfis exigindo seção de perfis maiores. Este artigo mostrou para a edificação em estudo, que uma estrutura apertada consome 29,66% a mais de aço em relação a estruturas contraventadas. Entre os contraventamentos o que teve um melhor desempenho foi o com formato de X com um deslocamento máximo no topo de 16,21 mm e um deslocamento entre pavimentos de 4,29 mm atendendo a NBR 8800:2008. O contraventamento da edificação com uma barra diagonal foi o mais vantajoso do ponto de vista do consumo de aço, consumindo apenas 2,51% a mais em relação a todo o consumo da edificação, o menos vantajoso foi o contraventamento em K aumentando o consumo de aço da edificação em 4,5%. O consumo de aço e os deslocamentos máximos entre os sistemas contraventados ficaram muito próximos ficando a critério do projetista escolher o sistema que mais se adequa ao projeto, alguns sistemas se adaptam mais facilmente ao projeto arquitetônico possibilitando a colocação de aberturas como nos casos dos contraventamentos em forma de V, V invertido, K e o formado com apenas uma barra diagonal.

Este artigo possibilita a ampliação do estudo comparando os sistemas de contraventamento treliçados com os sistemas de núcleo rígidos e paredes de cisalhamento e podendo ainda considerar o melhor sistema para abalos sísmicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**: NBR 6120:1980. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças Devidas ao Vento em Edificações**: NBR 6123:1988. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**: NBR 8800: 2008. Rio de agosto, 2008.

BASTOS, André Mendes Calazans Quito. **ANÁLISE DO EFEITO DA DESLOCABILIDADE LATERAL EM EDIFÍCIO DE ANDARES MÚLTIPLOS EM ESTRUTURA MISTA DE AÇO E CONCRETO**. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Cap. 2. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011799> >. Acesso em: 22 fev. 2017.

FRANCA, Marcelo Pessoa de Aquino. **Estudo da eficiência dos contraventamentos treliçados em edifícios com estruturas de aço**. 2003. 333 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Cap. 2. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5810> >. Acesso em: 20 fev. 2017.

JACOT, Benjamin et al. An Optimized Bracing System for Distributed Lateral Loads. In: PROCEEDINGS OF THE 5TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING, 5., 2017, Singapore. **An Optimized Bracing System for Distributed Lateral Loads**. Singapore: Infoscience, 2017. p. 366 - 374. Disponível em: <<https://infoscience.epfl.ch/record/227991>>. Acesso em: 18 jul. 2017

K.R, Rahul Krishna; SHARMA, Avinash Kumar; JAIN, Ankush Kumar. Performance Analysis of Different Concentric Braced Frame Systems on an irregular RCC Structure Imperiled to Wind Load. **International Research Journal Of Engineering And Technology**. Gandhinagar, p. 593-597. Maio 2017. Disponível em: <<https://www.Irjet.net/archives/V4/i5/IRJET-V4I5116.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

M.VIJAYAKUMAR; S. MANIVEL, Mr.; A. AROKIAPRAKASH, Mr. (Ed.). A Study on Seismic Performance of RCC Frame with Various Bracing Systems using Base Isolation Technique. **International Journal Of Applied Engineering Research**. Delhi, p. 7030-7033. Out. 2016. Disponível em: <<http://www.ripublication.com>>. Acesso em: 10 ago. 2017

MATOS, Rafael Carrijo Barreto de. **SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTOS EM EDIFÍCIOS DE ESTRUTURA METÁLICA**. 2014. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014. Cap. 4. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6404/1/21016114.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

RAM, M. Mohana. Comparisons of the Different Bracing System with Lateral and Transverse Loading on 2D Steel Frame. **International Journal Of Engineering Research & Technology**. Virudhunagar, p. 168-172. abr. 2016. Disponível em: <<http://www.ijert.org>>. Acesso em: 05 set. 2017.

SAHIJWANI, Nitin; ZALA, Jigar. COMPARATIVE STUDY OF “INVERTED V” and “V” TYPE RCC BRACING SYSTEM IN RCC MULTISTORY BUILDING. **International Journal Of Advance Research In Engineering, Science & Technology**. Ahmedabad, p. 366-371. Maio 2016. Disponível em: http://www.ijarest.com/papers/finished_papers/150513054319 >. Acesso em: 20 ago. 2017.

SIDDIQI, Z.a.; HAMEED, Rashid; AKMAL, Usman. Comparison of Different Bracing Systems for Tall Buildings. **Pakistan Journal Of Engineering And Applied Sciences**. Lahore, p. 17-26. Jan. 2014. Disponível em: <http://journal.uet.edu.pk/ojs_old/index.php/pjeas/article/view/102>. Acesso em: 25 ago. 2017.