

UTILIZAÇÃO DE *OUTRIGGERS* E *BELT TRUSSES* PARA REDUÇÃO DE DESLOCAMENTOS LATERAIS EM EDIFÍCIOS ALTOS

Adriano José Oliveira Ferreira¹, Pedro Henrique Queiroz de Souza².

¹ Graduando em Engenharia Civil, Faculdade do Futuro, adrianojoseoliveiraferreira@gmail.com

² Mestrando em Engenharia da Construção, Universidade Federal de Viçosa, consultoria.estrutural@gmail.com

Resumo- O aumento da altura nos edifícios, a adoção de estruturas e materiais de acabamento mais leves e aliados a necessidade de grandes vãos, tornou o vento um grande influenciador no cálculo estrutural, sendo possível casos em que a restrição ao deslocamento horizontal tenha maior ênfase que as próprias cargas de utilização do edifício, tornando-se necessário, uma melhor compreensão dos sistemas de contraventamento, para combater o deslocamento causado por ação eólica e que influencia diretamente no conforto humano e segurança da edificação. Diante disso, este trabalho apresenta revisão bibliográfica de literaturas existentes sobre a estabilização de edifícios altos, bem como a construção de modelos para um edifício de 150m em um *software* para análise estrutural e dinâmica, linear e não-linear por elementos finitos, que corrobora com as constatações de que: (i) o uso de *outriggers* associado a *belt trusses* é capaz de reduzir até nove vezes o deslocamento horizontal do topo do edifício; (ii) a posição em que se coloca o *outrigger* e o *belt trusses* é relevante para a eficiência do contraventamento; (iii) o acréscimo máximo de consumo de aço com o uso dos elementos contraventantes estudados não ultrapassa a 6% do peso total do prédio; (iv) para um edifício com três *outriggers* a relação peso deslocamento torna inviável o uso do *belt trusses*.

Palavras-chave: Deslocamento Horizontal; Contraventamento; *Outriggers*; *Belt Trusses*.

Área do Conhecimento: Engenharias.

1 INTRODUÇÃO

Desde o primórdio da civilização humana o homem constrói grandes edifícios, provas perenes desse legado são as Grandes Pirâmides de Gizé, no Egito, os zigurates da Mesopotâmia dentre outros colossos como os templos maias em Tikal, na Guatemala. Na idade moderna, os grandes edifícios erigidos, se diferem muito desses exemplos primitivos, não só nos materiais utilizados, mas, também nas suas formas, alturas e dimensão de suas bases, essas muito menores em relação à aquelas.

As inovações tecnológicas sempre contribuíram para a evolução do modo de vida humano, com o advento do aço como elemento estrutural, tivemos a possibilidade de construir prédios mais altos e leves, que a mais de um século atrás, deram início a revolução dos arranha-céus modernos.

Apesar de podermos rastrear o uso do aço em estruturas até 1856, quando teve início a produção de aço da Bessemer, sua utilização em grandes edifícios só foi estimulada após 1889, com a construção da Torre Eiffel de 300 metros, em Paris. Ainda no final do século XIX, tivemos a construção do modesto Edifício Flatiron, 1902, com 87 metros de altura, seguido do Chrysler Building em 1929, com 319 metros e o Empire State Building, 1931, com 381 metros, todos em Nova Iorque, e desde então, os arranha-céus não pararam de quebrar recordes de altura (TARANATH, 2012).

Com o aumento da altura nos edifícios, adoção de estruturas e materiais de acabamento mais leves e aliados a necessidade de grandes vãos, o vento passou a exercer grande influência no cálculo estrutural, sendo possível casos em que a restrição ao deslocamento horizontal tenha maior ênfase que as próprias cargas de utilização do edifício. Sabe-se que, a ação do vento sobre uma construção é considerada dinâmica, para o caso de sua altura ultrapassar cinco vezes a menor dimensão horizontal e/ou ser superior a cinquenta metros, sendo também diretamente afetada pelo relevo e rugosidade do terreno, bem como a forma da edificação, a sua esbeltez e aberturas existentes, além é claro, das construções circunvizinhas (LOUREIRO-RIBEIRO, 1990).

É notório que, o aumento da população mundial e a diminuição de terrenos a custos acessíveis nos grandes aglomerados urbanos, tem contribuído cada vez mais para a verticalização das cidades,

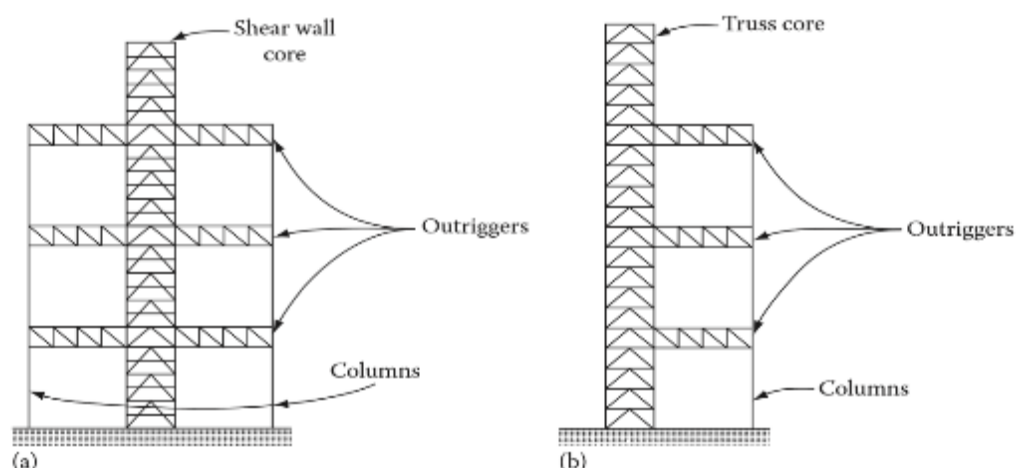
sendo o aço uma solução para a construção rápida, leve, racionalizada e com diversas soluções estéticas e estruturais, faz-se necessário, uma melhor compreensão dos sistemas de contraventamento, para combater o deslocamento horizontal, causado por ação eólica e que influencia diretamente no conforto humano e segurança da edificação. Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal, apresentar a eficiência do uso de *outriggers* e *belt trusses* na redução dos deslocamentos horizontais causados por carregamentos laterais de vento em edifícios de grande altura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Outriggers* e *belt trusses*

A busca por inovações em esquemas estruturais é um processo constante, o objetivo de limitar o deslocamento lateral dos edifícios a limite aceitável, sem aumentar em demasia o consumo de aço, faz com que o sistema de *outriggers* como contraventamento seja muito utilizado em edifícios altos e ultra altos. Constituído por um núcleo central reforçado com treliças horizontais, “estabilizadoras”, que o conectam às colunas periféricas da fachada, podendo ser localizado no centro da edificação com *outriggers* que se estendem para as duas direções, Figura 1 (a), ou em um dos lados com *outriggers* perpassando a outra extremidade, Figura 1(b) (NASIR e PATIL, 2016).

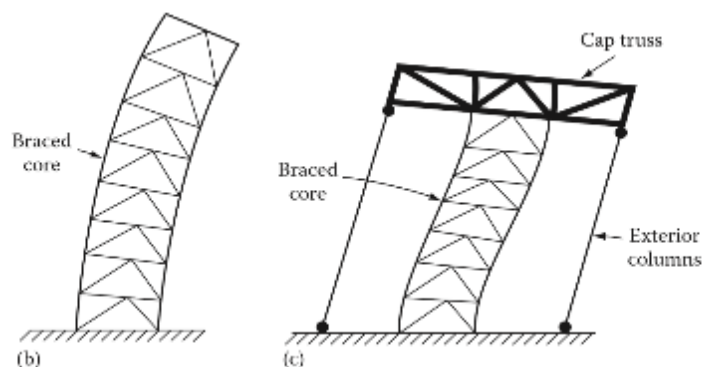
Figura 1- Núcleo e sistema de *outriggers*: (a) núcleo centralizado; (b) núcleo lateral.



Fonte: TARANATH, 2012, p.45.

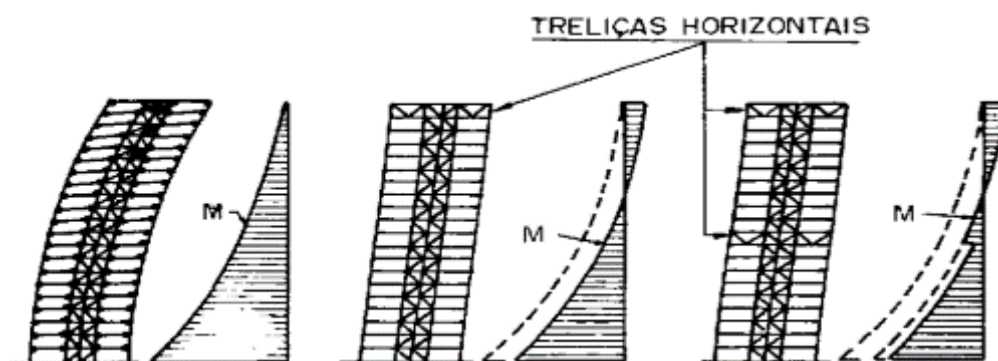
A peculiaridade desse sistema, é o apoio solidário exercido pelas colunas do perímetro à resistência dos esforços de momento fletor no núcleo. A amarração feita nas colunas faciais do edifício pela utilização dos *belt trusses*, resulta na melhor distribuição de cargas axiais de tração nas colunas a barlavento e compressão nas colunas a sotavento, Figura 2, gerando uma restrição a rotação do núcleo, criando um ponto de inversão na curvatura da edificação, reduzindo o momento de flexão do núcleo, bem como o deslocamento horizontal do último pavimento, Figura 3 (TARANATH, 2012).

Figura 2- Deformação por ação eólica: (a) deflexão do núcleo; (b) tensão axial nas colunas periféricas.



Fonte: TARANATH, 2012, p.47.

Figura 3- Ação de *outrigger* em diagrama de momento fletor.



Fonte: LOUREIRO-RIBEIRO, 1990, p.26.

2.2 Posição ótima para instalação dos *Outriggers*

De acordo com Smith (1991, apud NASIR e PATIL, 2016), para um melhor desempenho da estrutura, a posição ideal de colocação dos *outriggers*, segue seguinte fórmula:

$$\left(\frac{k}{(n+1)} \right) H, \text{ onde } k = (1, 2, 3 \dots n) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: n= Número de *outrigger* ; H= Altura total do edifício.

Como exemplo, se adotarmos 4 *outriggers*, temos:

1º *outrigger* = $[1 / (4+1)] H = (1/5) H = 0.2H$

2º *outrigger* = $[2 / (4+1)] H = (2/5) H = 0.4H$

3º *outrigger* = $[3 / (4+1)] H = (3/5) H = 0.6H$

4º *outrigger* = $[4 / (4+1)] H = (4/5) H = 0.8H$

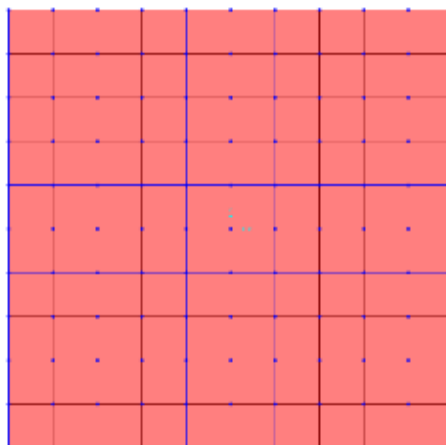
3 METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho consiste na revisão bibliográfica de literaturas existentes sobre a estabilização de edifícios altos, bem como a modelagem de um edifício no SAP 2000, um *software* para análise estrutural e dinâmica, linear e não-linear por elementos finitos, objetivando tratar os resultados obtidos e descrevê-los em forma de gráfico e tabelas para melhor entendimento do objetivo proposto.

O edifício proposto, foi modelado em 3 dimensões e possui 30m x 30m em planta e uma altura total de 150m, sendo 3m por andar.

Na Figura 4, é apresentada a planta do edifício, com as barras e nós considerados no modelo. Cada barra possui 3m de nó a nó, sendo que a laje do edifício foi dividida em painéis de 3m x 3m, para que a análise considerasse seu efeito de diafragma horizontal.

Figura 4- Planta retirada do modelo em SAP 2000.



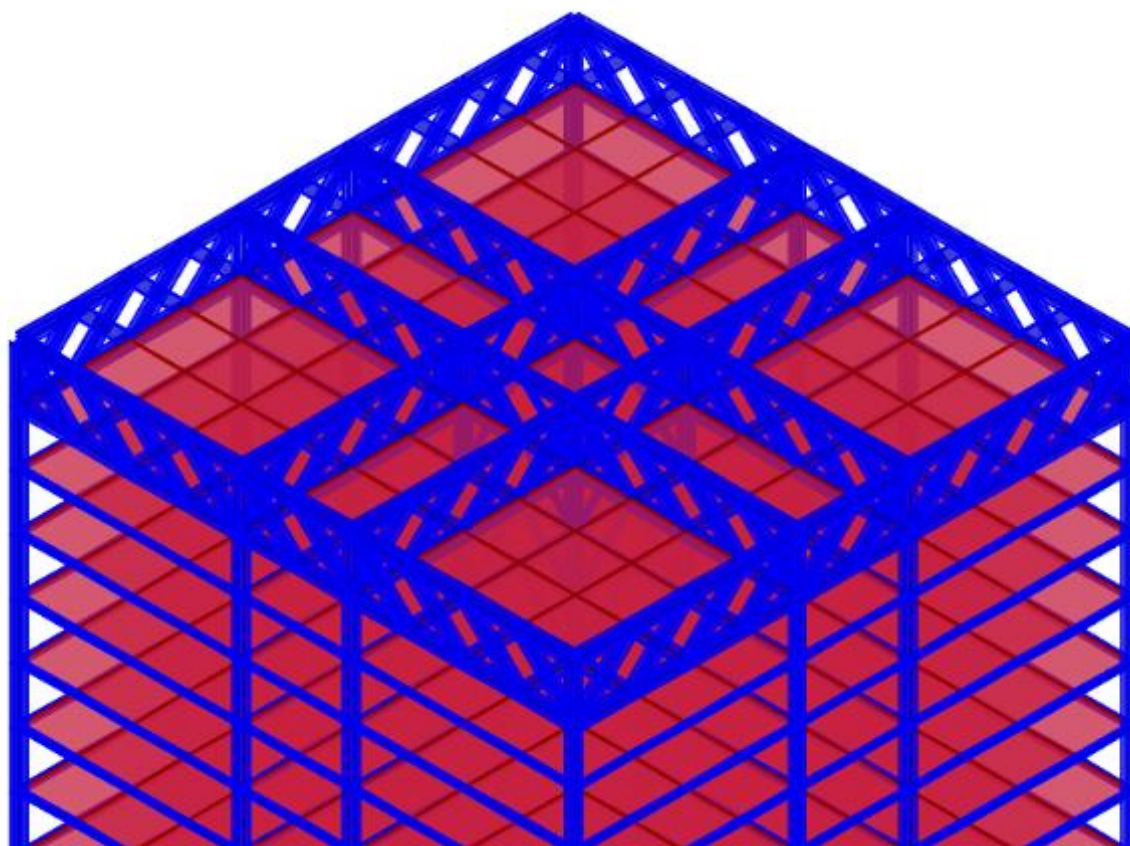
Para comparação da influência dos *outriggers*, foram elaborados cinco modelos, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos e características dos edifícios

Modelo	Características
ED-C-Out_N-Bel_N	Edifício com núcleo contraventado, pilares contínuos e vigas articuladas, sem <i>outrigger</i> , sem <i>belt trusses</i> .
ED-C-Out_1T-Bel_S	Edifício com núcleo contraventado, pilares contínuos e vigas articuladas, com <i>outrigger</i> no topo e <i>belt trusses</i> no nível do <i>outrigger</i> .
ED-C-Out_1-Bel_S	Edifício com núcleo contraventado, pilares contínuos e vigas articuladas, com 1 <i>outrigger</i> na posição ótima e <i>belt trusses</i> no nível do <i>outrigger</i> .
ED-C-Out_3-Bel_S	Edifício com núcleo contraventado, pilares contínuos e vigas articuladas, com 3 <i>outriggers</i> na posição ótima e <i>belt trusses</i> nos níveis dos <i>outriggers</i> .
ED-C-Out_3-Bel_N	Edifício com núcleo contraventado, pilares contínuos e vigas articuladas, com 3 <i>outriggers</i> na posição ótima e sem <i>belt trusses</i>

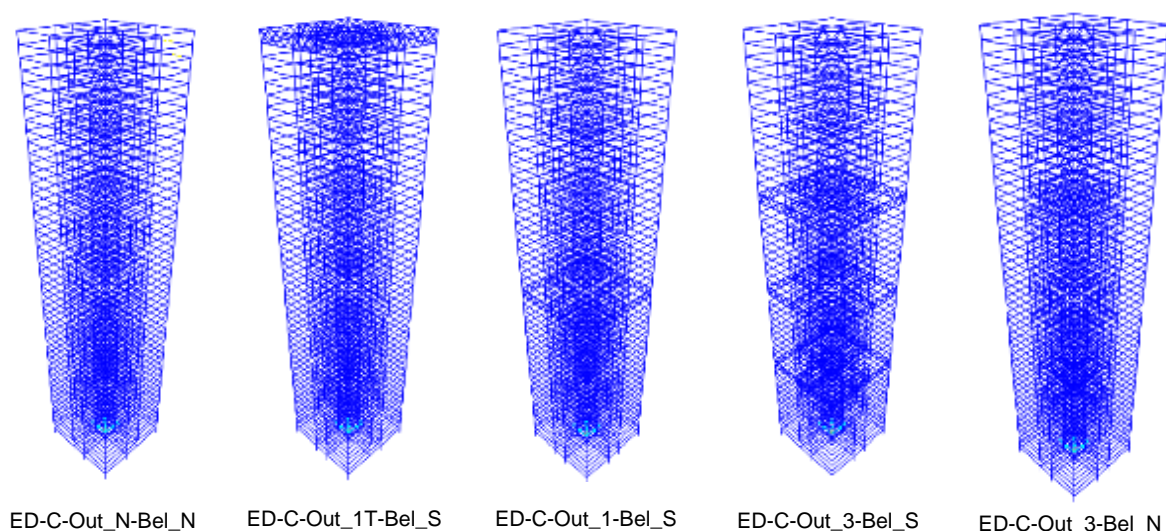
Na Figura 5 é possível perceber na periferia do edifício 4 treliças, uma por face, que formam o *bell trusses*, e na ligação entre o núcleo do edifício e as faces, 4 treliças em cruz, formando os *outriggers*.

Figura 5 – Vista do Edifício, com estabilizadores no topo



A Figura 6 ilustra cada um dos modelos apresentados. Para melhor compreensão dos modelos, as lajes foram retiradas da imagem.

Figura 6 – Vistas dos modelos tridimensionais



Em todos os modelos foram aplicadas cargas horizontais de 100 kN, em cada nó de ligação dos pilares com o nível do pavimento na face frontal do edifício.

Para cada modelo foi medido o deslocamento horizontal no topo do edifício. Estes deslocamentos são apresentados nos resultados, assim como as análises relacionadas ao comportamento dos modelos quando submetidos a estes carregamentos laterais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os deslocamentos horizontais no topo e o peso total do edifício para cada um dos modelos. Nota-se uma diferença pouco significativa em relação aos pesos dos modelos e grandes discrepâncias em relação aos deslocamentos totais no topo do edifício.

Tabela 2 – Resultados obtidos no SAP 2000

Modelo	Peso Total (kN)	Deslocamento Horizontal no Topo (m)
ED-C-Out_N-Bel_N	205.809,927	8,503
ED-C-Out_1T-Bel_S	209.551,420	4,120
ED-C-Out_1-Bel_S	209.551,420	2,339
ED-C-Out_3-Bel_S	217.034,403	0,954
ED-C-Out_3-Bel_N	211.126,785	1,182

Na Tabela 3 são apresentadas as relações entre os pesos totais calculados para cada modelo.

Tabela 3 – Relação entre o peso próprio dos modelos

	ED-C-Out_N-Bel_N	ED-C-Out_1T-Bel_S	ED-C-Out_1-Bel_S	ED-C-Out_3-Bel_S	ED-C-Out_3-Bel_N
ED-C-Out_N-Bel_N	1,000	1,018	1,018	1,055	1,026
ED-C-Out_1T-Bel_S	0,982	1,000	1,000	1,036	1,008
ED-C-Out_1-Bel_S	0,982	1,000	1,000	1,036	1,008
ED-C-Out_3-Bel_S	0,948	0,966	0,966	1,000	0,973
ED-C-Out_3-Bel_N	0,975	0,993	0,993	1,028	1,000

Na Tabela 4 são apresentadas as relações entre os deslocamentos horizontais calculados para cada modelo.

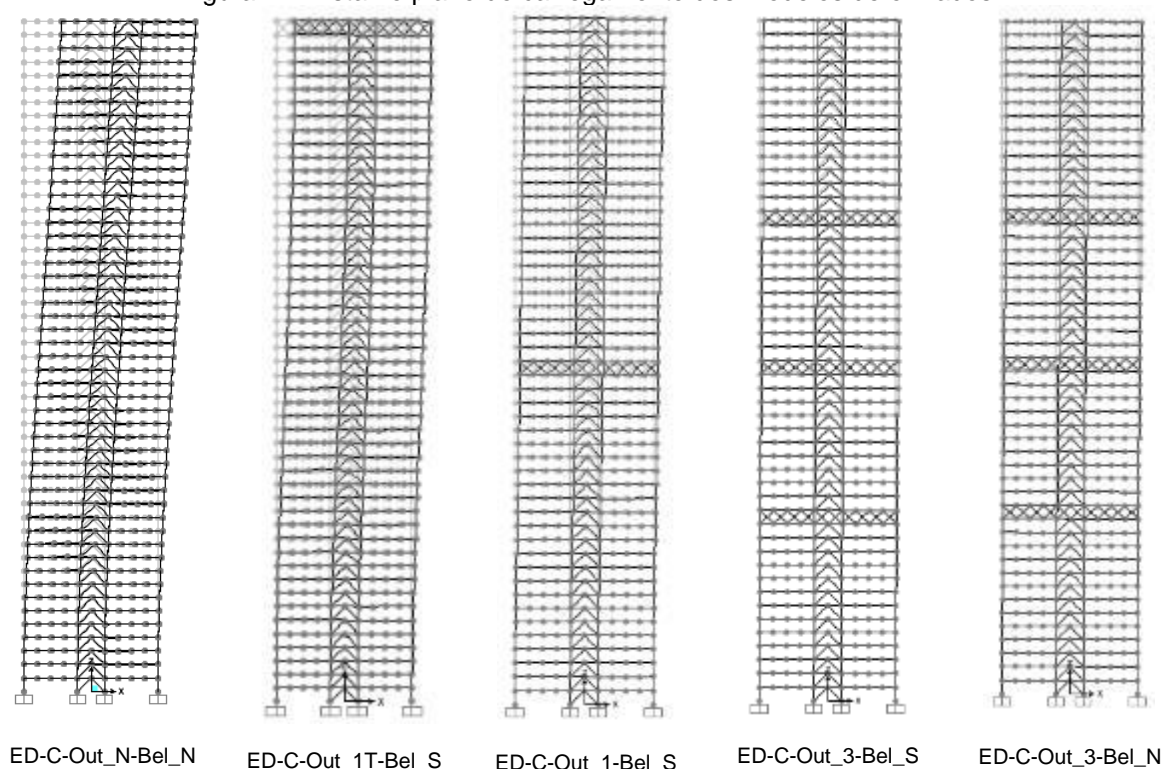
Tabela 4 – Relação entre os deslocamentos horizontais no topo dos modelos

	ED-C-Out_N-Bel_N	ED-C-Out_1T-Bel_S	ED-C-Out_1-Bel_S	ED-C-Out_3-Bel_S	ED-C-Out_3-Bel_N
ED-C-Out_N-Bel_N	1,000	0,485	0,275	0,112	0,139
ED-C-Out_1T-Bel_S	2,064	1,000	0,568	0,232	0,287
ED-C-Out_1-Bel_S	3,635	1,761	1,000	0,408	0,505
ED-C-Out_3-Bel_S	8,913	4,319	2,452	1,000	1,239
ED-C-Out_3-Bel_N	7,194	3,486	1,979	0,807	1,000

Na Tabela 3 é possível notar que em relação aos pesos totais a diferença no consumo de aço não ultrapassa 6% e na Tabela 4, nota-se que, nos modelos com *outriggers* e *belt trusses* os deslocamentos no topo do edifício podem ser quase nove vezes menores em relação ao que não contém este dispositivo, o que demonstra sua eficiência.

Na Figura 7 são apresentadas as deformações nos modelos provocadas pelo carregamento lateral. Nota-se grandes diferenças de deslocamentos no topo e de comportamento da estrutura.

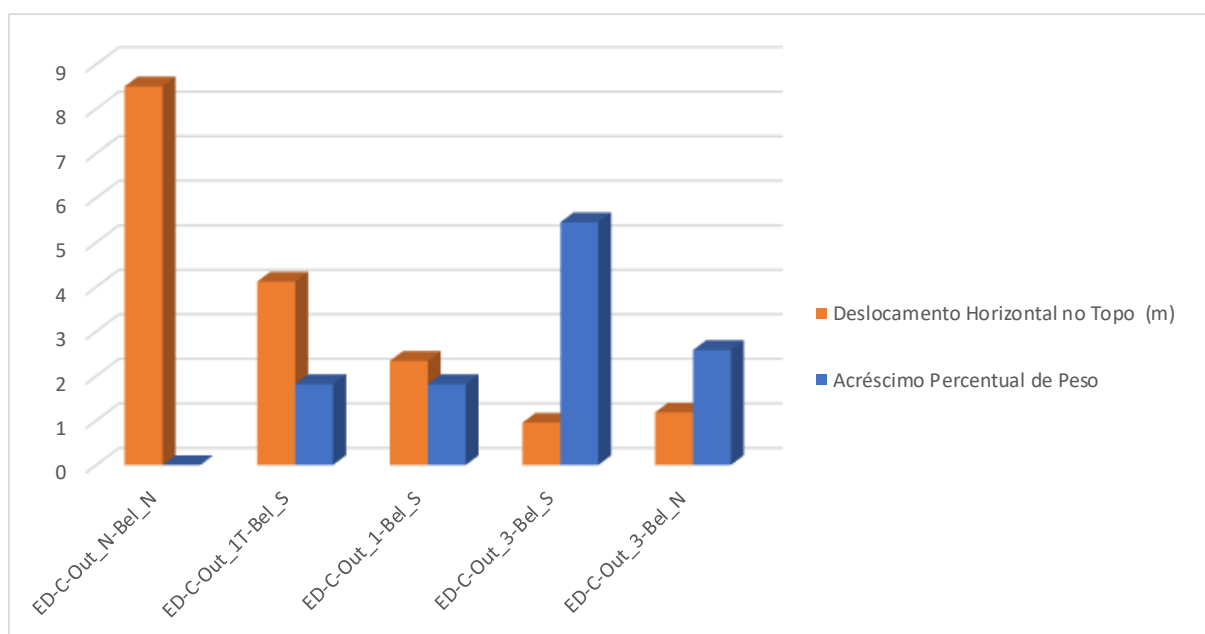
Figura 7 – Vista no plano do carregamento dos modelos deformados



Na Figura 8 é apresentado o gráfico com o acréscimo percentual de peso nos modelos para cada caso em relação ao modelo de referência (sem *outrigger*), e os deslocamentos no topo do edifício. É perceptível que o acréscimo de peso no modelo ED-C-Out_1T-Bel_S é o mesmo que no modelo ED-C-Out_1-Bel_S, porém, o deslocamento no último é inferior, o que demonstra que o posicionamento dos estabilizadores é perimordial na redução dos deslocamentos.

Outro ponto importante é que quando comparados os modelos com três *outriggers*, percebe-se que a influência do *belt trusses*, modelo ED-C-Out_3-Bel_S, no deslocamento do topo não é significativa e leva a um aumento de peso que se mostra desnecessário, como visto no modelo ED-C-Out_3-Bel_N.

Figura 8 – Gráfico: Deslocamento horizontal no topo x Acréscimo percentual de peso



5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nas análises dos diferentes modelos, apresentados ao longo do trabalho, foi possível concluir que: o uso de *outriggers* associado a *belt trusses* é capaz de reduzir até nove vezes o deslocamento horizontal do topo do edifício; a posição em que se coloca o *outrigger* e o *belt trusses* é relevante para a eficiência do contraventamento; o acréscimo máximo de consumo de aço com o uso dos elementos contraventantes estudados não ultrapassa a 6% do peso total do prédio e para um edifício com três *outriggers* a relação peso deslocamento torna inviável o uso do *belt trusses*.

Assim sendo, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho contribuam para o desenvolvimento de novos trabalhos referentes a utilização de contraventamentos, buscando estruturas mais eficientes e com melhores comportamentos.

6 REFERÊNCIAS

LOUREIRO-RIBEIRO, L. F. **Utilização de “outriggers” em edifícios altos**. 1990. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

NASIR, S.R; PATIL, A. S. **Lateral Stability Analysis of High Rise Building with the Effect of Outrigger and Belt Truss System**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). v. 3, n.1, 2016. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V3/i8/IRJET-V3I8348.pdf>. Acesso em 09 out. 2018.

TARANATH, B. S. **Structural Analysis and Design of Tall Buildings Steel and Composite Constructio**. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012.