



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS  
CAMPUS PALMAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THALLITA NADIELE DOS SANTOS MOURA**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS TRELIÇADOS EM  
AÇO**

**PALMAS  
2019**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS  
CAMPUS PALMAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THALLITA NADIELE DOS SANTOS MOURA**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS TRELIÇADOS EM  
AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel no Curso  
Superior de Engenharia Civil do Instituto  
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo  
e Silva  
Coorientador: Eng. Ricardo Allen Filgueira  
Pontes

**PALMAS  
2019**

MOURA, T. N. S

Análise de estabilidade de edifícios industriais treliçados em aço./ Thallita Nadiele dos Santos Moura – Palmas, 2019. 23 f.

Artigo (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

Co-orientador: Eng. Ricardo Allen Filgueira Pontes

1. Aço. 2. Estrutura. 3. Travamento. 4. Estabilidade. I. Análise de estabilidade de edifícios industriais treliçados em aço.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **THALLITA NADIELE DOS SANTOS MOURA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS TRELIÇADOS EM AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenharia Civil.

Aprovado em: 16/04/2019

#### **BANCA AVALIADORA**

---

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva  
(Orientador)  
IFTO – Campus Palmas

---

Profa. Ma. Caroline Rezende Couto  
IFTO – Campus Palmas

---

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso  
IFTO – Campus Palmas

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>6</b>
2.1	Análises da estrutura principal.....	8
2.2	Análises das terças: grupos de terças e terça isolada .....	10
<b>3</b>	<b>Resultados e discussões.....</b>	<b>12</b>
3.1	Dimensionamentos do edifício.....	12
3.2	Análise dos travamentos da estrutura principal (análise transversal e longitudinal).....	13
<b>4</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Agradecimentos .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Referências.....</b>	<b>22</b>

# Análise de estabilidade de edifícios industriais treliçados em aço

Thallita Nadiele dos Santos Moura<sup>1\*</sup>, Thiago Dias de Araújo e Silva<sup>2</sup>, Ricardo Allen Filgueira Pontes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. 904 sul, alameda 8 lote 13. CEP: 77023-374. Palmas- TO, Brasil, *email*: engcivil.thallitamoura@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

## STABILITY ANALYSIS OF STEEL TRIPLE INDUSTRIAL BUILDINGS

### Resumo

Devido à elevada esbelteza, as estruturas metálicas precisam ser contraventadas, visando diminuir os seus comprimentos de flambagem e aumentar a estabilidade da estrutura. Existem diversos sistemas de contraventamentos, entretanto há poucos estudos que demonstram qual deles é o mais eficiente em pórticos treliçados. Desta forma, foram analisadas combinações de sistemas de travamentos e contraventamentos para a estrutura principal e também travamentos das terças. Concluindo-se que sistema de travamento e contraventamento da estrutura principal com melhor desempenho em termos de economia e estabilidade, seria onde o pórtico central é contraventado no banzo superior e travado pela mão francesa no banzo inferior. Observando, nesse sentido, que a mão francesa também exerceu o papel de travar a terça, diminuindo o seu comprimento de flambagem, otimizando assim sua utilização.

**Palavras-chave:** Aço; Estrutura; Travamento; Estabilidade.

### Abstract

Given the elevated slenderness, the metal structures need bracing, aiming diminish the buckling length and increase structure stability. There are various bracing systems, however there are few studies that demonstrate which of them are more efficient in lattice portico. Thus, combinations of locking and bracing systems for the main structure were analysed and also the locking of the purlins. Concluding that the main structure locking and bracing system with better performance in terms of economy and stability, would be where the central portico is braced with the upper rafter locked by the bracket on the bottom rafter. It is observed, in this sense, that the bracket also participated on locking the rafter, decreasing the buckling length, optimizing, thereby, its use.

**Keywords:** Steel, structure; locking; stability.

## 1 Introdução

O aço estrutural por se tratar de um material muito resistente, é adotado diversas vezes para viabilizar a execução de projetos arquitetônicos que estão cada vez mais ousados e esbeltos, tornando o problema de instabilidade mais perceptível (Gomes, 2005). Deste modo, cabe aos profissionais de engenharia conciliarem seus projetos e obras neste contexto, principalmente quando se trata de obras industriais.

Dentre as características do aço, pode-se destacar a elevada resistência mecânica, tais como tensão de escoamento, tensão de ruptura e módulo de elasticidade, possibilitando a utilização de elementos mais esbeltos vencendo grandes vãos. Tais características proporcionam elevada resistência à tração e compressão. Porém, quando se trata de esforços axiais de compressão, os elementos estruturais podem apresentar problemas de flambagem.

A flambagem pode levar a estrutura a uma falha repentina, portanto para saber qual a carga axial máxima que uma coluna pode suportar antes de flambar é feito o cálculo da carga crítica de Euler, sendo esta carga crítica a força aplicada a um elemento que faz com que este perca a estabilidade. Esta carga é calculada conforme a equação abaixo:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (1)$$

Observa-se que a equação tem propriedades inerentes ao perfil e material: inércia, módulo de elasticidade e comprimento de flambagem, este último sendo a multiplicação do coeficiente de flambagem por compressão pelo comprimento de flambagem da barra. A NBR 8800 (2008) abrange os valores do coeficiente K, utilizado em considerações para dimensionamento e para cálculo dos valores da força axial por flambagem elástica por flexão ou torção.

Admitindo uma seção fixa, observa-se que é possível aumentar a resistência do elemento através da diminuição de seu comprimento de flambagem. Desta maneira,

prova-se a necessidade de elementos de travamento para garantir a estabilidade da peça.

Galpões industriais são caracterizados como edificações com grande espaço desobstruído, conseqüentemente, exigindo maiores vãos livres. Desta forma é de suma importância manter essa estrutura estável, pois estes estão sujeitos aos fenômenos de instabilidade causados pelas cargas que superam a carga crítica do elemento, gerando assim falhas repentinas. Para conter tais fenômenos é necessário diminuir a esbeltez da estrutura travando-a, aumentando assim, sua rigidez.

É possível a obtenção dos valores das cargas críticas que causam tais falhas repentinas em elementos estruturais através da expressão (1). Porém, a obtenção da carga crítica de uma estrutura é possível por meio do cálculo do parâmetro crítico de carga, que é um coeficiente que multiplica a carga aplicada em toda a estrutura para que a mesma tenha uma falha repentina, caracterizando assim a carga crítica, conforme equação abaixo:

$$N_{cr} = P_{cr} \times N \quad (2)$$

Tendo em vista as problemáticas envolvidas com a estabilidade de edifícios industriais em aço, bem como o desconhecimento da real contribuição e eficiência dos elementos de travamento destas estruturas, este estudo visa avaliar o comportamento da carga crítica de um edifício industrial treliçado em aço com a variação de combinações de travamentos e de carregamentos através de análise numérica computacional.

## 2 Materiais e métodos

Pfeil (2008) fala que as treliças são feitas de segmentos de hastes, unidas por nós, que formam uma configuração geométrica estável e de base triangular, e são muito adequadas para estruturas metálicas. O edifício industrial treliçado em aço deste estudo possui 30 metros de largura, 36 metros de comprimento e 9 metros de altura. Sua estrutura principal é caracterizada por pórticos rotulados em ambas as direções, com espaçamento de 6 metros. Na direção longitudinal, a estrutura é bi rotulada,



sendo o contraventamento responsável pelo travamento, utilizado de acordo com cada análise a ser realizada. E na direção transversal, o pórtico é bi rotulado, sendo este responsável por absorver os deslocamentos.

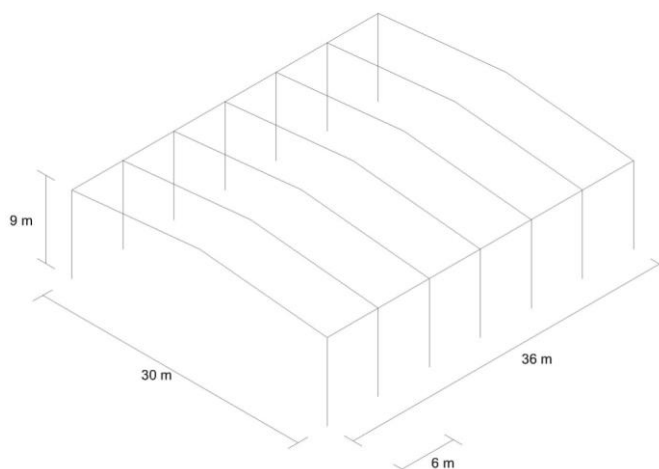


Figura 1 - Descrição da estrutura global apertada do galpão

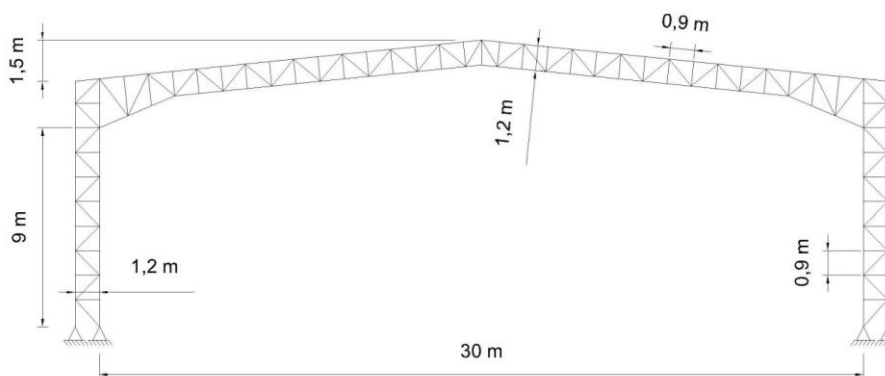


Figura 2 - Dimensões do pórtico principal

Os pilares e vigas são constituídos por treliças, com perfis de chapa dobrada à temperatura ambiente, no aço A-36 (250MPa). O dimensionamento, que compreende as dimensões dos perfis e os espaçamentos entre banzos das treliças, terças e travamentos, foi realizado pelo software Cype 3D, que faz uso de cálculos de elementos por nós e barras. As verificações quanto aos esforços foram realizadas de acordo com as combinações previstas na NBR 8800 (2008) e os critérios de estabilidade conforme o EN 1993-1-1.

Os carregamentos considerados para dimensionamento do galpão foram:

- Peso próprio
- Peso da telha (TP40 – sanduíche): 12 Kg/m<sup>2</sup>
- Sobrecarga de cobertura: 25 Kg/m<sup>2</sup>
- Carga acidental de uma pessoa: 100 Kg (apenas nas análises de terça; carga pontual, no meio do vão da terça)
- Vento 0°: calculado conforme NBR 6123 [4]
- Vento 90°: calculado conforme NBR 6123
- Força horizontal equivalente: 0,3% x FVtotal (devido ao desaprumo)

Após o dimensionamento, foram modeladas seis situações de projeto a serem analisadas para a estrutura principal. Também foram realizadas três análises referentes a um grupo de terças e duas análises referentes a terça isolada, onde foi analisado o travamento nas direções x e y do eixo local da peça.

## 2.1 Análises da estrutura principal

De acordo com Silva et al. (2015) para uma análise das estruturas metálicas deve-se conter um estudo minucioso dos carregamentos externos verticais e horizontais, assim como os efeitos que esses carregamentos causam quando a estrutura se deforma, visto que, o aumento nos deslocamentos de um edifício podem alterar os esforços atuantes nos elementos estruturais, interferindo diretamente na estabilidade da estrutura. Uma das propostas destas análises, e hipótese deste trabalho, é de avaliar a eficiência do travamento da mão-francesa no lugar do contraventamento do banzo inferior que tende a perder estabilidade quando submetido a esforços de compressão.

Para visualizar o comportamento da carga crítica e as possibilidades, serão realizadas situações com o travamento apenas nas regiões onde há contraventamento no banzo superior e com a presença e ausência da viga de transmissão no banzo inferior.

As análises de estabilidade do edifício foram feitas no software SAP2000, onde as análises foram caracterizadas como *buckling* (flambagem) e os elementos estruturais como frame (barra). Através do SAP2000 foram obtidos os valores do  $\alpha_{cr}$ , e em todas as análises foram aplicadas quatro combinações de carregamentos para verificar a pior situação, conforme está ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Combinações de carregamentos

Combinações	
Combinação 1	$Q = (1,25 \times \Sigma \text{ Peso próprio da telha}) + (1,5 \times \Sigma \text{ Sobrecarga})$
Combinação 2	$Q = (1,0 \times \Sigma \text{ Peso próprio da telha}) + (1,4 \times \Sigma \text{ Vento 0})$
Combinação 3	$Q = (1,0 \times \Sigma \text{ Peso próprio da telha}) + (1,4 \times \Sigma \text{ Vento 90 com cpi= -0,30})$
Combinação 4	$Q = (1,0 \times \Sigma \text{ Peso próprio da telha}) + (1,4 \times \Sigma \text{ Vento 90 com cpi= 0,0})$

As estruturas de travamento para a estrutura principal são utilizadas para conter o deslocamento longitudinal da estrutura, portanto nas análises 1 a 6 foram considerados apenas os deslocamentos na direção longitudinal do galpão.

Nas imagens a seguir, estão ilustradas as situações e combinações de travamentos analisadas para a estrutura principal.

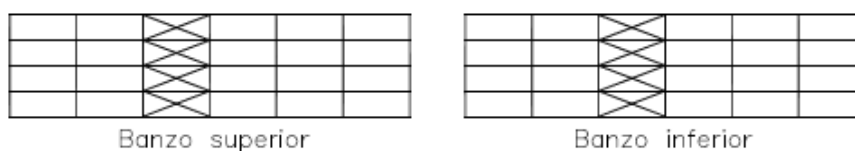


Figura 3 - Análise 1: Contraventamento no banzo superior e inferior, no pórtico central

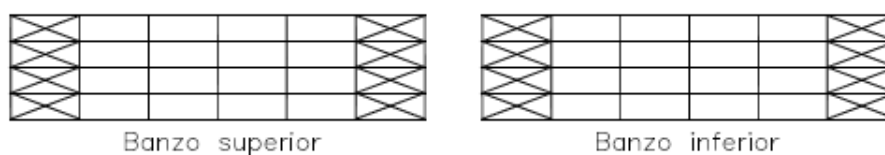


Figura 4 - Análise 2: Contraventamento no banzo superior e inferior, nos pórticos de extremidade

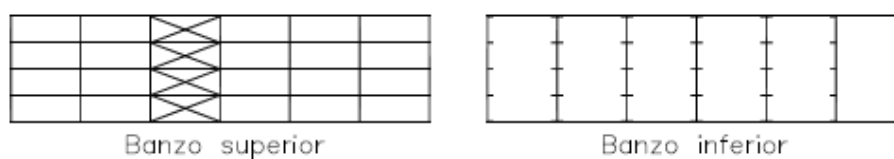


Figura 5 - Análise 3: Contraventamento no banzo superior (pórtico central), e mão francesa no banzo inferior

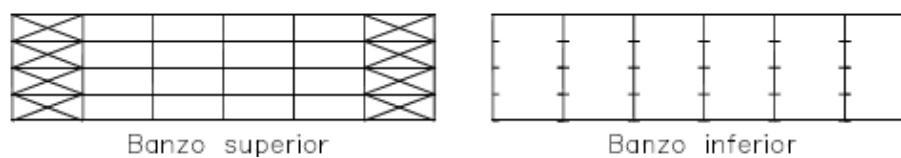


Figura 6 - Análise 4: Contraventamento no banzo superior (pórticos de extremidades), e mão francesa no banzo inferior

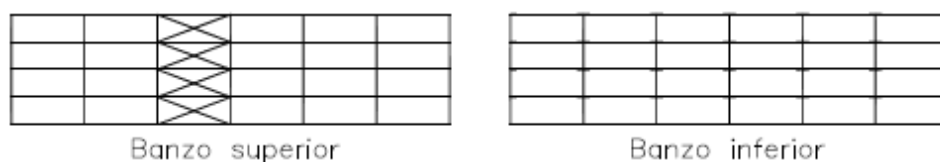


Figura 7- Análise 5: Contraventamento no banzo superior (pórtico central), e mão francesa com viga de travamento no banzo inferior

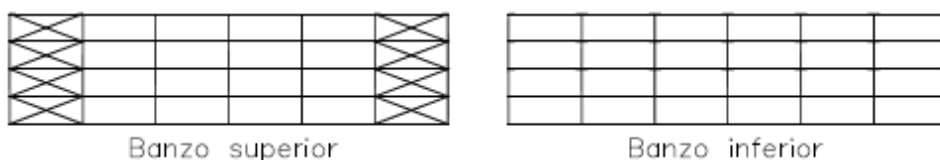


Figura 8 - Análise 6: Contraventamento no banzo superior (pórticos de extremidades), e mão francesa com viga de travamento no banzo inferior

## 2.2 Análises das terças: grupos de terças e terça isolada

No grupo de terças, foram contempladas situações onde não há travamentos, e apenas linha de corrente e linha de corrente com tirante, referente à flambagem lateral da peça (em torno do eixo  $y$ ).

Já em relação às terças isoladas, tem-se o modelo com e sem mão francesa, onde foi analisado a flambagem em torno do eixo  $x$ . Foi realizada uma análise de uma terça isolada pois o travamento não solidariza o deslocamento das terças como ocorre na linha de corrente.

Em cada uma dessas análises foi restringido o deslocamento das terças no *software* para o plano que corresponde aos deslocamentos descritos acima, tendo o sistema de referências na imagem a seguir.

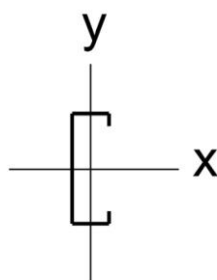


Figura 9 - Eixos do perfil da terça

Nas imagens abaixo estão ilustradas as situações e combinações de travamentos analisadas para as terças.

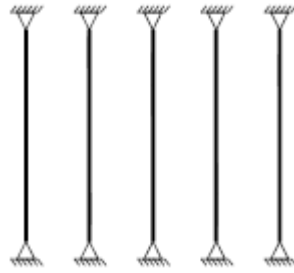


Figura 10 - Análise 7 : Grupo de terças sem travamento (vista superior)

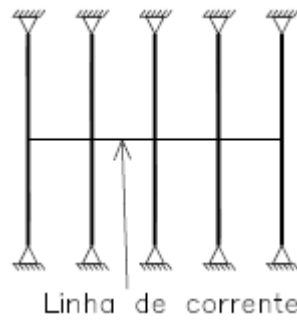


Figura 11 - Análise 8: Grupo de terças com linha de corrente (vista superior)

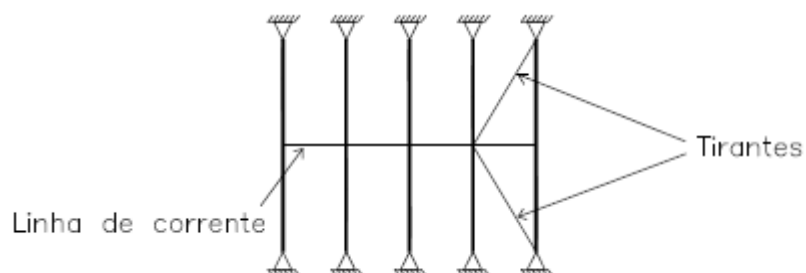


Figura 12 - Análise 9: Grupo de terças com linha de corrente e tirante  
(vista superior)

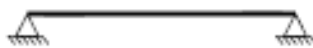


Figura 13 - Análise 10: Terço isolada sem mão francesa  
(vista frontal)



Figura 14 - Análise 11: Terço isolada com mão francesa (vista frontal)

Conforme o EN 1993–1–1, a estrutura pode ser classificada em nós fixos e nós móveis através do parâmetro crítico de carga. Para uma análise elástica, realizada nesse estudo, as estruturas devem ter valores do parâmetro crítico igual ou superior a 10, sendo consideradas de nós fixos, que segundo Silva et al. (2006) é uma estrutura que possui pouca sensibilidade às forças horizontais no plano por causa da elevada rigidez. Desta forma pode ser realizada apenas uma análise de primeira ordem.

Já estruturas que possuem valores de parâmetro crítico menor que 10 e maior ou igual a 3 são consideradas estruturas de nós móveis, e é necessário fazer uma análise de segunda ordem, de maneira simplificada através da amplificação dos esforços.

Por fim, se o parâmetro crítico for menor que 3, a estrutura permanece de nós móveis, porém a análise de segunda ordem deve ser realizada de maneira rigorosa.

No dimensionamento inicial da estrutura, a mesma foi considerada como de nós fixos. O procedimento para verificação do parâmetro crítico de carga foi conforme o EN 1993–1–1 considerando o dimensionamento do pórtico principal.

Visando mesmo parâmetro e para validar as análises dos travamentos, o critério para viabilidade das situações de travamento será a permanência da estrutura em uma situação de nós fixos.

### **3 Resultados e discussões**

#### **3.1 Dimensionamentos do edifício**

Para manter uma estrutura estável, os esforços resistentes devem ser sempre maiores do que os esforços solicitantes devidamente combinados. A escolha das tipologias dos perfis consistiu como alternativa de projeto, contemplando a compatibilidade entre encaixe de perfis, visto que esta é uma estrutura treliçada.

Segundo Simões (2007) estados limites são condições que quando superados torna a estrutura inapta para cumprir os requisitos de dimensionamento. Após a adoção dos perfis no Cype 3D, todos os perfis apresentados no quadro abaixo atenderam aos critérios de estado limite último e estado limite de serviço da NBR 8800 (2008).

Quadro 2 – Perfis utilizados no edifício industrial treliçado em aço

Lista de Perfis	
Estrutura	Perfil (aço A-36)
Contraventamento	L 63x63x6
Banzos Pilar	Cartola 250x85x25x3
Banzo Viga de Cobertura	Cartola 175x50x25x3
Montantes Pilar	C 240x75x20x2
Montantes Viga de Cobertura	C 165x50x25x2
Terças	C 125x50x17x2
Terças de Fechamento Lateral	C 125x50x17x2
Mão Francesa	L 50x50x3
Linhas de Corrente/Tirantes	Barra 8 mm
Viga de Transmissão	C 125x50x17x2

### 3.2 Análise dos travamentos da estrutura principal (análise transversal e longitudinal)

Após o dimensionamento, foram realizadas as análises de travamento da estrutura principal, tendo os valores de parâmetro crítico de carga para cada uma das 4 combinações no quadro abaixo.

Quadro 3 – Resultado do alfa crítico das análises no pórtico principal

Tipo	Análise	Travamentos		Parâmetro crítico de carga (SAP2000)			
				CB1	CB2	CB3	CB4
Longitudinal	Análise 1	B.S	CVT	40,33	-35,66	-47,92	29,86
		B.I	CVT + VT				
	Análise 2	B.S	CVT	79,80	-70,51	-94,75	-59,03
		B.I	CVT + VT				
	Análise 3	B.S	CVT	-10,52	9,29	12,31	7,71
		B.I	MF				
	Análise 4	B.S	CVT	-20,00	17,78	23,56	14,75
		B.I	MF				
	Análise 5	B.S	CVT	-7,39	9,62	12,74	7,98
		B.I	MF + VT				
	Análise 6	B.S	CVT	-23,37	20,75	27,50	17,22
		B.I	MF + VT				

MF: Mão francesa  
CVT: Contraventamento  
VT: Viga de transmissão  
B.S: Banzo superior  
B.I: Banzo inferior

Observa-se que os parâmetros críticos de carga da tabela acima foram os obtidos no primeiro modo de instabilidade. O software utilizado, SAP2000, faz a análise de cargas

de flambagem com a consideração do valor absoluto do carregamento em ambas as direções, apontando assim diversos módulos de instabilidade da estrutura, positivos e negativos. Em virtude disso, e do sentido das cargas aplicadas, alguns dos parâmetros críticos de carga foram abaixo de zero, o que significa que no modo de instabilidade em questão, o valor absoluto do parâmetro crítico de carga é o fator que multiplica a carga da combinação para levar a falha repentina da estrutura, porém com o sentido contrário.

Como as cargas e combinações foram inseridas conforme os sentidos reais de sua aplicação, peso próprio para baixo, e vento de sucção, conforme a NBR 6123 (1988), é necessário a obtenção de valores de parâmetros críticos de carga positivos. No quadro abaixo estão listados os valores positivos bem como o modo de instabilidade correspondente à leitura entre parênteses.

Quadro 4 – Resultado do parâmetro crítico das análises no pórtico principal com todos os valores positivos

Tipo	Análise	Travamentos		Parâmetro crítico de carga (SAP2000)			
				CB1	CB2	CB3	CB4
Longitudinal	Análise 1	B.S	CVT	40,33	481,59	597,09	385,58
		B.I	CVT + VT				
	Análise 2	B.S	CVT	79,80	229,02	294,119	186,73
		B.I	CVT + VT				
	Análise 3	B.S	CVT	38,24 (9)	9,29	12,31	7,71
		B.I	MF				
	Análise 4	B.S	CVT	75,48	17,78	23,56	14,75
		B.I	MF				
	Análise 5	B.S	CVT	39,42 (9)	9,62	12,74	7,98
		B.I	MF + VT				
	Análise 6	B.S	CVT	77,47	20,75	27,50	17,22
		B.I	MF + VT				

MF: Mão francesa  
 CVT: Contraventamento  
 VT: Viga de transmissão  
 B.S: Banzo superior  
 B.I: Banzo inferior

Na análise 1 o menor valor do parâmetro crítico é de 40,33 na combinação 1, classificando a estrutura como de nós fixos. A instabilidade ocorreu na base do pilar contraventado como mostra a figura abaixo.



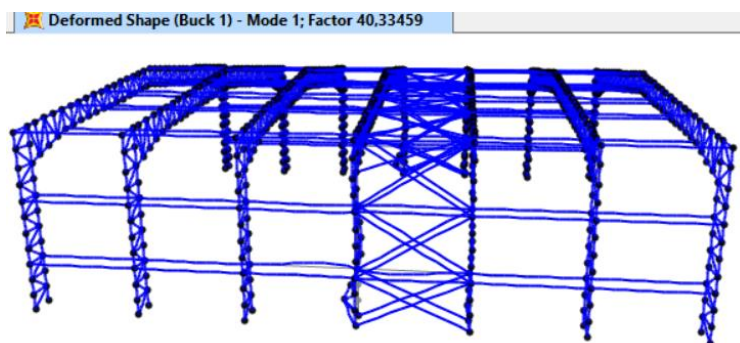


Figura 15 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 1 -Combinação 1)

Na análise 3 o menor valor do parâmetro crítico é de 7,71 na combinação 4, classificando a estrutura como de nós móveis. A instabilidade ocorreu no conjunto mão francesa e terça de fechamento lateral como mostra a figura abaixo.

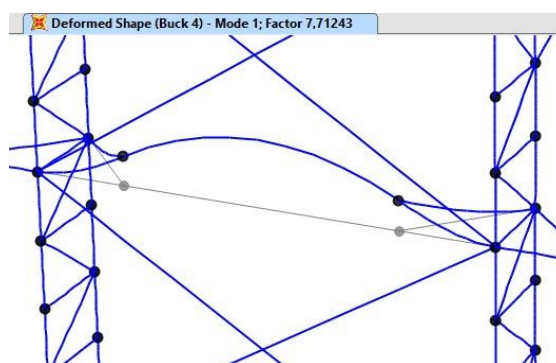


Figura 16 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 3 –Combinação 4)

Na análise 5 o menor valor do parâmetro crítico é de 7,98 na combinação 4, também classificando a estrutura como de nós móveis. A instabilidade ocorreu no conjunto mão francesa e terça de fechamento lateral como mostra a figura abaixo.

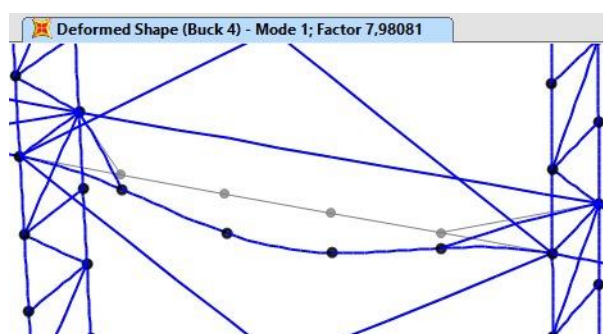


Figura 17 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 5 –Combinação 4)

A análise 2 possui 79,80 como menor parâmetro crítico na combinação 1, classificando a estrutura como de nós fixos. Assim como na análise 1, a instabilidade ocorreu na base dos pilares contraventados, como mostra a figura abaixo.

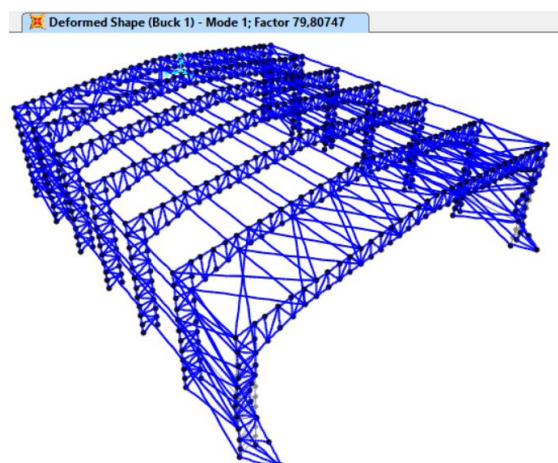


Figura 18 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 2 - Combinação 1)

Na análise 4 o menor parâmetro crítico foi de 14,75 na combinação 4, classificando a estrutura como de nós fixos. A instabilidade aconteceu no conjunto mão francesa e terça de fechamento lateral como mostra a figura abaixo.

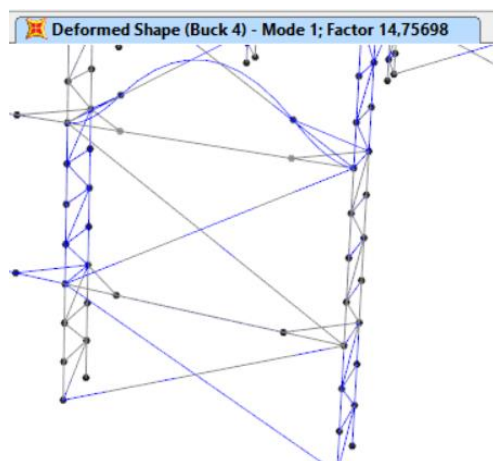


Figura 19 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 4 - Combinação 4)

E por último a análise 6 apresentou 17,22 como menor parâmetro crítico na combinação 4, classificando a estrutura como de nós fixos. A instabilidade aconteceu no conjunto mão francesa e terça de fechamento lateral como mostra a figura abaixo.

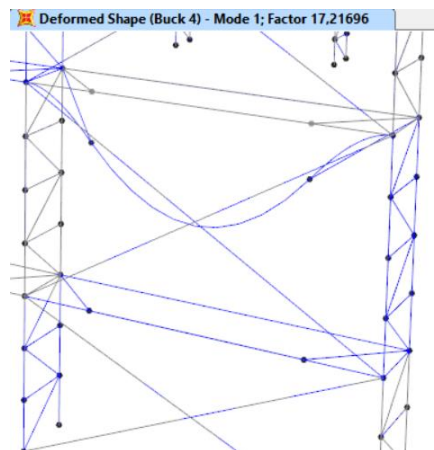


Figura 20 - Resultado do parâmetro crítico de carga (Análise 6 - Combinação 4)

Como pode ser observado nos resultados das análises, os pórticos contraventados no banzo superior e inferior, central ou de extremidades, absorvem melhor as ações do vento e tem um parâmetro crítico de carga maior que as demais análises nas combinações 2, 3 e 4. Também observa-se que quanto maior a quantidade de pórticos contraventados, maior será o parâmetro crítico, como se observa comparando os modelos aos seus pares, 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6. Notou-se que a inserção da viga de transmissão juntamente com a mão francesa nas análises 5 e 6, provocou uma variação mínima no parâmetro crítico de carga comparado às análises 3 e 4 onde possui apenas mão francesa.

Quando o contraventamento do banzo inferior é substituído por mão francesa, nota-se uma diminuição no parâmetro crítico de carga de maneira geral, e todos os menores valores são na combinação 4, que é a combinação do vento 90 com o coeficiente de pressão interna de 0,00.

Apesar de a mão francesa possuir a função de diminuir o comprimento de flambagem da peça, as análises 4 e 6 que possuem dois pórticos contraventados no banzo superior, mostraram um melhor desempenho e a estrutura foi classificada como de nós fixos. Em contrapartida as análises 3 e 5, onde se tem um pórtico contraventado, classificou-se a estrutura como de nós móveis.

Desta maneira, a fim de avaliar a viabilidade do modelo com base na diferença do peso de material de travamento, propôs-se a substituição dos perfis da mão francesa nas

análises 3 e 5 até que alcançasse um valor de parâmetro crítico de carga igual ou superior a 10, que ocorreu com o uso de um perfil cantoneira laminado L 75x75x6.

Após a substituição nas análises 3 e 5, o parâmetro crítico de carga passou a ser de 13,23 e 13,15 respectivamente na combinação 2, e 10,98 e 10,91 respectivamente na combinação 4, classificando assim a estrutura como de nós fixos, como as demais.

Por fim, tendo a estrutura principal classificada como nós fixos em todas as situações de travamento, o quadro a seguir apresenta os pesos dos elementos de travamento longitudinal da estrutura principal.

Quadro 5 – Resultado do peso de cada uma das estruturas de travamento

Análise	Tipo de travamento		Travamentos	
			Peso (Kg)	Total (Kg)
Análise 1	B.S	CVT	1079,664	3657,102
	B.I	CVT + VT	2577,438	
Análise 2	B.S	CVT	2159,328	5785,645
	B.I	CVT + VT	3626,317	
Análise 3	B.S	CVT	1079,664	2614,944
	B.I	MF	1535,28	
Análise 4	B.S	CVT	2159,328	2680,027
	B.I	MF	520,6991	
Análise 5	B.S	CVT	1079,664	4143,504
	B.I	MF + VT	3063,84	
Análise 6	B.S	CVT	2159,328	4208,587
	B.I	MF + VT	2049,259	

Agrupando os resultados em duas tipologias, com um e dois pórticos contraventados, se observa que das estruturas de travamento das análises 1, 3 e 5, a análise 3 foi a que apresentou menor peso. Já nas análises 2, 4 e 6 dos contraventamentos nos pórticos de extremidade, a análise 4 foi a que apresentou menor peso. Observa-se que as estruturas mais leves foram onde a mão francesa está substituindo o contraventamento no banzo inferior.

Para a análise das terças, diferente do pórtico principal, foram coletados os deslocamentos em 5 pontos da peça no SAP2000. A NBR 8800 (2008) traz na tabela C.1

os valores máximos para os deslocamentos verticais (flechas) e horizontais. No caso das terças de cobertura, o deslocamento máximo permitido é de  $\delta = L/120$ .

Como as terças de cobertura possuem 6 m de comprimento, a flecha máxima permitida por norma é de 50 mm. Portanto as análises das terças terão como parâmetro a flecha máxima.

Para verificar a contribuição da linha de corrente e tirante na diminuição dos deslocamentos horizontais, no eixo y, foram coletados os dados do Quadro 5. Para melhor compreensão dos dados, as terças foram travadas no sentido vertical.

Quadro 5 – Análise 7 (grupo de terças sem travamento)

Ponto	Deslocamento Horizontal (mm)			
	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
1	0	0	0	0
2	0	44,7	35,9	52,7
3	0	62,7	50,3	73,9
4	0	44,7	35,9	52,7
5	0	0	0	0

Quadro 6 – Análise 8 (grupo de terças com linha de corrente)

Ponto	Deslocamento Horizontal (mm)			
	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
1	0	0	0	0
2	0	44,7	35,9	52,7
3	0	62,7	50,3	73,9
4	0	44,7	35,9	52,7
5	0	0	0	0

Quadro 7 – Análise 9 (grupo de terças com linha de corrente e tirante)

Ponto	Deslocamento Horizontal (mm)			
	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
1	0	0	0	0
2	0	6,4	5,1	7,6
3	0	7	5,6	8,3
4	0	6,4	5,1	7,6
5	0	0	0	0

Nas análises 7, 8 e 9, observa-se que a Combinação 1, por serem cargas que geram apenas compressão na peça, não proporcionam deslocamento. Nos pontos 1 e 5 também não possuem deslocamentos por serem os pontos de apoio da peça. A

combinação 4, possui os maiores valores de deslocamento, pois as cargas do vento 90 ( $c_{pi} = 0,0$ ) são bem maiores gerando os maiores deslocamentos.

Após verificar as análises 7 e 8, é possível concluir que apenas a linha de corrente não influenciou no deslocamento da peça, sendo que os valores permaneceram os mesmos. E em alguns pontos de algumas combinações o valor da flecha máxima foi ultrapassado.

Já na análise 9 ao inserir o tirante juntamente com a linha de corrente, os deslocamentos são diminuídos drasticamente, e todos os pontos passam a ter valores de deslocamento inferiores ao da flecha máxima, comprovando que o conjunto linha de corrente/tirante auxilia na diminuição dos deslocamentos no eixo y da terça.

Na terça isolada foi verificado a influência da mão francesa na diminuição do deslocamento da terça no sentido vertical, eixo x. E também para melhor compreensão dos dados, as terças foram travadas no sentido horizontal.

Quadro 8 – Análise 10 (terça isolada)

Ponto	Deslocamento Horizontal (mm)			
	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
1	0	0	0	0
2	60,2	53,9	41,1	65,4
3	85,2	75,6	57,7	91,7
4	60,2	53,9	41,1	65,64
5	0	0	0	0

Quadro 9 – Análise 11 (terça isolada com mão francesa)

Ponto	Deslocamento Horizontal (mm)			
	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
1	0	0	0	0
2	0,8	0,6	0,4	0,7
3	4,5	3,3	2,5	4
4	0,8	0,6	0,4	0,7
5	0	0	0	0

Tal como a análise dos grupos de terças, os pontos 1 e 5 não possuem deslocamento por serem os apoios da peça. A combinação que possui o maior deslocamento é a combinação 1, pois é a que possui as maiores cargas de flexão. E com exceção dos

pontos 2 e 4 da combinação 3, todos os outros pontos ultrapassaram o valor da flecha limite.

Mas assim que são inseridas as mãos francesas é nítida a diminuição dos deslocamentos. Todos os pontos passam com muita folga podendo concluir que a mão francesa tem influência sobre a diminuição dos deslocamentos verticais da terça.

#### **4 Conclusões**

Neste artigo observou-se que estruturas de travamento têm grande influência na estabilidade da estrutura. No galpão deste estudo apenas um pórtico contraventado seria o suficiente para manter a estrutura estável e um parâmetro crítico de carga acima de 10, classificando a estrutura como de nós fixos. A utilização de dois pórticos contraventados serviu para comprovar que quanto maior o número de pórticos contraventados, maior a estabilidade e o parâmetro crítico de carga da estrutura principal no sentido longitudinal.

Também foi possível verificar que as mãos francesas conseguem contribuir na estabilidade da estrutura substituindo o contraventamento no banzo inferior, após a mudança para um perfil de maior rigidez, enquadrando a estrutura como de nós fixos, parâmetro adotado neste trabalho e também possibilitando uma estrutura mais leve.

Então concluiu-se que o melhor sistema de travamento e contraventamento que apresentou melhor desempenho, em termos de economia e estabilidade da estrutura, seria o sistema onde o pórtico central é contraventado no banzo superior e travado pela mão francesa no banzo inferior, ou seja, a análise 3. É importante ressaltar que na análise 11 a mão francesa exerceu papel de travar a terça, diminuindo seu comprimento de flambagem, e isso possibilita uma otimização de sua utilização: tanto para terças, quanto para travamento do banzo inferior da estrutura principal.

O uso da viga de transmissão junto com a mão francesa no travamento do banzo inferior não demonstrou uma grande diferença em relação ao uso unicamente da mão francesa. Portanto, economicamente não seria vantajoso utilizar a viga de transmissão em conjunto com a mão francesa no travamento do banzo inferior da estrutura.

As análises realizadas neste trabalho são específicas para o edifício aqui caracterizado, e, portanto, faz-se necessária uma análise criteriosa para se avaliar a possibilidade da substituição do método tradicional de travamento da estrutura principal (contraventamentos) por mãos francesas.

## 5 Agradecimentos

Agradecer a Deus pela força e sabedoria para a trajetória desse trabalho. Ao engenheiro civil e professor doutor Thiago Dias de Araújo e Silva que apresentou a ideia deste estudo e orientou. Ao engenheiro civil Ricardo Allen Filgueira Pontes pela coorientação, suporte e correções necessárias para que fosse possível a conclusão deste trabalho. E a todas as pessoas que direta ou indiretamente deram apoio para a realização deste trabalho.

## 6 Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

Computers and Structures I. SAP2000: **Integrated software for structural analysis and design**. Berkeley Calif: CSI; 2006.

CYPE 3D: **Software para engenharia e construção**. Versão 2014: CYPE Ingenieros, S.A, 2014.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1993-1-1: 2010. Design of steel structures-Part 1.1: **General rules and rules for buildings**. Brussels, 2010.

GOMES, H. C. L. **Verificação de Pilares de Aço à Flexão Composta Considerando Comprimentos de Flambagem, Forças Horizontais Fictícias e Análise Avançada**. Dissertação (Mestrado em Estrutura) – Escola Politécnica da universidade de São Paulo. 2005.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Aço: **Dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008**. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2008.

SILVA, Thiago Dias de Araújo e. et al. **Análise estrutural de pórticos metálicos: Estudo comparativo entre Eurocódigo EN 1993-1-1:2010 e ABNT NBR 8800:2008**. Revista da Estrutura de Aço , v. 5, p. 59-78, 2016.



SILVA, Thiago Dias de Araújo. et al. **Desempenho de pórticos não contraventados sob ação do fogo natural**. In: X Congresso de Construção Metálica e Mista, 2015, Coimbra. Anais do X Congresso de Construção Metálica e Mista. Coimbra: Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2015. v. 1. p. 465-474.

SIMÕES, R. A. D. **Manual de dimensionamento de estruturas metálica**. Coimbra: CMM Press, 2007.