

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM ALUMÍNIO COM BASE NA NBR – 8800/2008

Marcia J. C. dos Santos¹ e Marcio L. V. N. de Moraes²

E-mail: marciajordanna@hotmail.com¹; márcio.varela@ifrn.edu.br²

RESUMO

O alumínio, atualmente, vem ganhando destaque no setor da construção civil, pois o alumínio é considerado um metal dúctil, de elevada resistência à corrosão e alta condutibilidade elétrica. Embora apresente baixa resistência mecânica os avanços da tecnologia voltada às ligas de alumínio estão favorecendo para o melhoramento das características e das propriedades das ligas de alumínio, tornando-a com elevado poder estrutural, semelhante a do aço, madeira e alvenaria. Apesar do crescente desenvolvimento do alumínio como função estrutural, no Brasil não há nenhuma norma

brasileira a respeito do assunto. Diante disto, foi desenvolvido um projeto de dimensionamento de uma passarela para pedestre em alumínio, tornando como base a norma brasileira de estrutura em aço, a NBR 8800/2008 - Projetos de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, e normas estrangeiras como a EUROCODE. Foi realizado o dimensionamento da passarela com perfis de alumínio, encontrado comercialmente na região, sobre os esforços de tração e compressão na estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Alumínio, perfil, dimensionamento, tração, compressão.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR SIZING OF METAL STRUCTURES ALUMINUM BASED NBR - 8800/2008

ABSTRACT

Aluminum has currently gaining prominence in the construction industry, because aluminum is considered a ductile metal with high corrosion resistance and high electrical conductivity. Although it has low mechanical strength advances in technology geared to aluminum alloys are favoring for the improvement of the characteristics and properties of aluminum alloys, making it a high structural power, similar to steel, wood and masonry. Despite the increasing development of aluminum as a structural function, in Brazil there is no

Brazilian standard on the subject. Before this, he was developing a draft design of a pedestrian walkway to aluminum, making the Brazilian standard as the basis of structure steel, NBR 8800/2008 - Project of steel structures and composite structures of steel and concrete buildings, and foreign standards such as Eurocode. Was performed scaling the walkway with aluminum profiles, found commercially in the region, about the efforts of tension and compression in the structure.

KEYWORDS: Aluminum, profile, sizing, strength, compressibility.

1 INTRODUÇÃO

O alumínio é considerado um metal dúctil, de elevada resistência à corrosão e alta condutibilidade elétrica, embora o alumínio na forma pura apresente baixa resistência mecânica para aplicações estruturais. Atualmente esse o uso de alumínio vem crescendo constantemente pela sua variedade de aplicações em virtude de seu baixo ponto de fusão, permitindo uma maior trabalhabilidade na produção das ligas. Para um melhor aproveitamento das ligas de alumínio nas suas propriedades físicas e mecânicas são utilizados os elementos zinco, magnésio, silício, cobre e manganês (BUZINELLI, 2000) e (ANTUNES, 2009).

Apesar de apresentar baixa resistência mecânica, os avanços tecnológicos direcionados as ligas de alumínio estão promovendo um melhoramento em suas propriedades e características, tornando as ligas de alumínio com poder estrutural semelhante ao aço, à alvenaria e a madeira.

As ligas metálicas apresentam peso equivalente a um terço do aço, tornando um material muito leve diminuindo o peso próprio da estrutura assim como seu módulo de elasticidade. Também é um metal que sofre melhoramento em temperaturas mais baixas, sendo a capacidade de não sofrer ruptura frágil em baixas temperaturas diferentemente do aço uma de suas melhores características.

A indústria da Construção Civil apresenta a cada dia estudos voltada na utilização de alumínio com função estrutural. Embora seja um mercado em expansão, não há uma norma brasileira específica para sobre o dimensionamento de estruturas metálicas em alumínio.

Sendo assim, este projeto tem por objetivo desenvolver uma metodologia para dimensionamento de estrutura metálica em alumínio desenvolvendo cálculos estruturais para os esforços de tração e compressão em perfis de alumínio laminado comercialmente encontrado na região.

2 METODOLOGIA

No setor de estrutura metálica não há normais brasileira relacionada a estruturas em alumínio, a literatura brasileira sobre estrutura em alumínio se restringe a basicamente catálogos e propagandas de produtos. Já as normais estrangeiras suas referências são escassas e de difícil acesso, como o caso das EUROCODE. Embora quando se tratada de normais relacionada a estruturas de aço essa realidade é bem diferente, atualmente há uma norma recente sobre projeto estrutural em aço, a NBR 8800/2008 - Projetos de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, em vigor.

Foi realizada uma metodologia de cálculo para estruturas em alumínio como base nos conhecimento estabelecido pela NBR 8800/2008 e estudos europeus sobre o assunto. Foi possível observar o comportamento das estruturas metálicas em alumínio diante das solicitações de esforço de tração e compressão de perfis laminado comercialmente encontrados para uma treliça metálica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dimensionamento

Foi realizado um projeto de uma ponte para pedestre de 3,0m de comprimento e 0,3 m de altura com passarela de madeira, figura 1a e 1b.

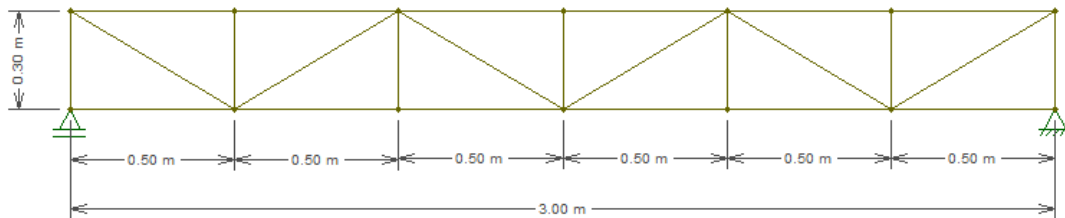


Figura 1a: Treliça metálica

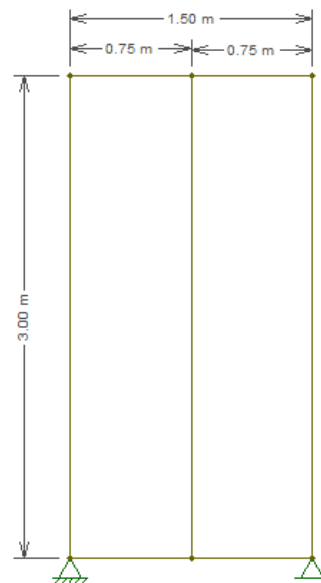


Figura 1a: Treliça metálica

- Peso próprio (PP) – Madeira

- Maçaranduba – 11 KN/m³
- Espessura da madeira – 2,5 cm

$$PP = 11 \times 0,025 = 0,275 \text{ KN/m}^2 \quad (1)$$

- Carga Permanente (CP)

$$CP = 1,35 \times PP \quad (1)$$

$$CP = 1,35 \times 0,275 \quad (2)$$

$$CP = 0,37 \text{ KN/m}^2 \quad (3)$$

- Carga acidental (CA)

- Passarela para pedestre – 5 KN/m²

$$CA = 1,5 \times 5 \quad (1)$$

$$CA = 7,5 \text{ KN/m}^2 \quad (2)$$

- Carga Total (CT)

$$CT = 0,75 \times (CP + CA) \quad (1)$$

$$CT = 0,75 \times (0,37 + 7,5) \quad (2)$$

$$CT = 5,9 \text{ KN/m} \quad (3)$$

Os resultados apresentam que a treliça apresenta uma carga distribuída (CD) de 5,9 KN/m. Para que a estrutura apresente cargas concentradas (CC) na extremidade de cada banzo superior, deve-se multiplicar a distância de cada banzo pela sua carga distribuída. A treliça com suas cargas concentradas estão apresentadas na figura 3.

- Banzo superior externo

- $CC = 0,25 \times 5,9$ (1)

- $CC = 1,5 \text{ KN/m}$ (2)

- Banzo superior interno

- $CC = 0,5 \times 5,9$ (1)

- $CC = 3,0 \text{ KN/m}$ (2)

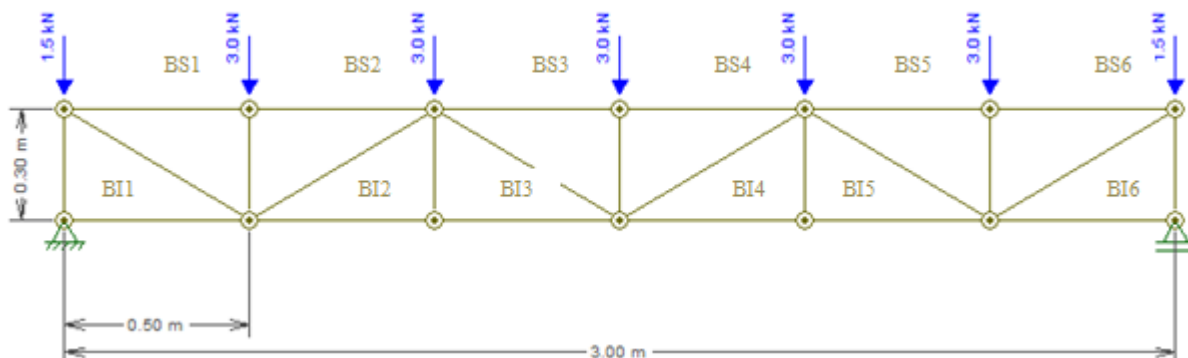


Figura 2: Treliça com carregamento

Foi realizado o dimensionamento da treliça sendo determinados os valores dos esforços de tração e compressão nos banzos superiores (BS), banzos inferiores (BI), montantes (M) e diagonais (D), mostrado na Figura 4.

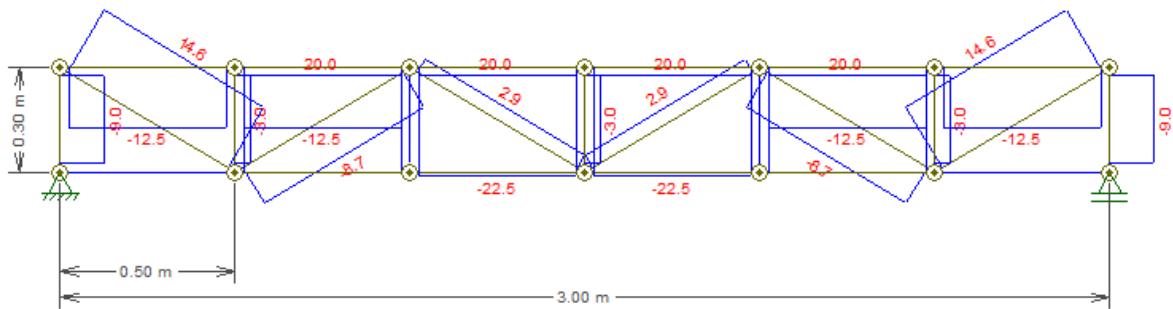


Figura 3: Esforços de tração e compressão na treliça

A tabela 1, demonstra os valores correspondes às cargas concentradas encontradas nos banzos, sobre os esforços de tração e compressão nos banzos superiores e nos banzos inferiores da peça.

Tabela 1: Esforços de tração e compressão em BS e BI

BANZO	CARGA (KN)	COMP. (m)	ESFORÇO (KN)
BS1	4,5	0,5	-12,5
BS2	6,0	0,5	-12,5
BS3	6,0	0,5	-22,5
BS4	6,0	0,5	-22,5
BS5	6,0	0,5	-12,5
BS6	4,5	0,5	-12,5
BI1	4,5	0,5	0,0
BI2	6,0	0,5	20,0
BI3	6,0	0,5	20,0
BI4	6,0	0,5	20,0
BI5	6,0	0,5	20,0
BI6	4,5	0,5	0,0

O resultado do esforço de compressão no BS3 e o esforço de tração no BI4 serão os valores da força axial de tração resistente para o dimensionamento do perfil retangular da treliça, pois estes são os maiores valores de esforço da peça em módulo.

Os montantes e as diagonais estão demonstrados na tabela 2 e 3 respectivamente, onde serão expostos a carga atuante em cada montante, o seu comprimento e o esforço de tração e compressão em cada peça.

Tabela 2: Esforços de tração e compressão nos montantes

MONTANTE	CARGA (KN)	COMP. (m)	ESFORÇO (KN)
M1	1,5	0,3	-9,0
M2	3,0	0,3	-3,0
M3	3,0	0,3	0,0
M4	3,0	0,3	-3,0
M5	3,0	0,3	0,0
M6	3,0	0,3	-3,0
M7	1,5	0,3	-9,0

Tabela 3: Esforços de tração e compressão nos montantes

DIAGONAL	CARGA (KN)	COMP. (m)	ESFORÇO (KN)
D1	0,0	0,58	14,6
D2	0,0	0,58	-8,7
D3	0,0	0,58	2,9
D4	0,0	0,58	2,9
D5	0,0	0,58	-8,7
D6	0,0	0,58	14,6

Os esforços de tração e compressão da diagonal serão utilizados para aplicação nos cálculos de dimensionamento para força axial de tração resistente de um perfil circular da treliça.

3.2 Esforços de tração

3.2.1 Perfil retangular

A liga de alumínio utilizada para o dimensionamento da treliça metálica é a liga 6060 – T5, com característica de boa resistência a corrosão e resistência mecânica. O limite de resistência à tração (f_u) de 1,6KN/cm² e limite de escoamento à tração (f_y) de 1,2KN/cm².

O BI4 é um perfil retangular com força axial de tração resistente (NRD) de 20 KN.

3.2.2 Cálculo da força de tração resistente de cálculo

Escoamento da seção bruta

O valor da força axial de tração resistente (NRD) terá que ser maior ou igual a força axial de tração solicitante (NSD).

$$NRD \geq NSD$$

$$NRD = A_g \times f_y / 1,10 \tag{1}$$

$$20,0 = A_g \times 1,2/1,1 \quad (2)$$

$$A_g = 18,33 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

Para perfis retangulares de 2" x 1" (figura 5) com espessura da parede de 2,2 mm

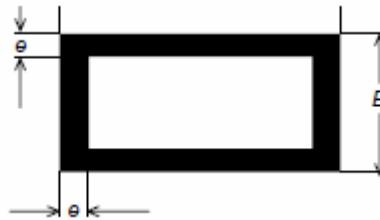


Figura 4: Perfil retangular

$$A_g = A_g \text{ interna} - A_g \text{ externa} \quad (1)$$

$$A_g = (5,08 \times 2,54) - [(5,08 - 0,44) \times (2,54 - 0,44)] \quad (2)$$

$$A_g = 3,16 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

A área líquida da peça retangular (2"x1") atente aos cálculos podendo ser utilizada na treliça.

3.2.2 Perfil circular

O D1 é um perfil circular com força axial de tração resistente (NRD) de 14,6 KN.

$$NRD \geq NSD \quad (1)$$

$$NRD = A_g \times f_y/1,10 \quad (2)$$

$$14,6 = A_g \times 1,2/1,1 \quad (3)$$

$$A_g = 13,38 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

Para perfis circulares de 1 1/2" com espessura de parede de 2,2 mm (figura 6):

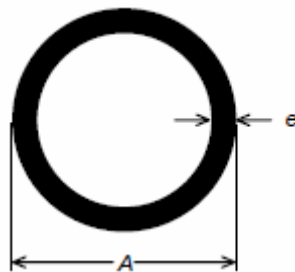


Figura 5: Perfil circular

$$A_g = A_g \text{ externa} - A_g \text{ interna} \quad (1)$$

$$A_g = (\pi \times 3,81^2) - (\pi \times 3,37^2) \quad (2)$$

$$A_g = 9,92 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

A área líquida circular (1 1/2") atende as exigências de cálculo, podendo ser utilizada na treliça.

3.3 Esforços de compressão

Os esforços de compressão foram localizados nos banzo superiores e nos montantes, sendo utilizada a mesma liga de alumínio, 6060 – T5, com valores para o limite de resistência à tração (f_u) de 1,6KN/cm² e limite de escoamento à tração (f_y) de 1,2KN/cm².

3.3.1 Perfil retangular

Os banzos são os perfis retangulares com maior força axial de compressão resistente de cálculo (CRD) de 22,1 KN, de perfil (4" x 2"). Segunda a NBR 8800, para a condição de estabilidade para os estados limites do elemento comprimido, o valor da força axial de compressão resistente de cálculo (CRD) terá que ser maior ou igual à força axial de compressão solicitante (CSD).

$$C_{RD} \geq C_{SD}$$

Flambagem local

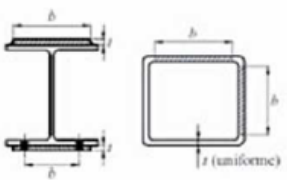
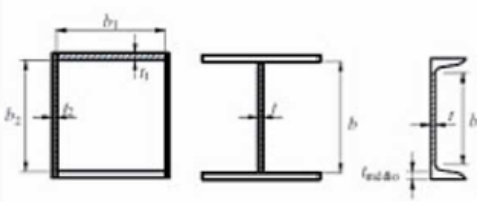
Para a flambagem local classificadas em AA, duas bordas longitudinais vinculadas, é considerado por:

$$\frac{b}{T_w} = \frac{5,08}{0,12} = 23,09 \quad (1)$$

Para que as barras comprimidas sejam consideradas totalmente efetivas (considerando Q = 1), os limites de flambagem local $\left(\frac{b}{T_w}\right)$ devem ser menores que $(b/t)_{lim}$, então:

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t} lim \quad (2)$$

O perfil retangular de alumínio possui b/t_{lim} , de acordo com tabela 4 o tipo AA do grupo1.

Tipo de elemento	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicações b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	- mesas ou almas de seções retangulares - lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	- almas de seções I, H ou U - mesas ou almas de seções caixa - todos os demais elementos que não integram o grupo 1		$1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$$1,40x \sqrt{(E/f_y)} > b/T_w \quad (3)$$

$$1,40 x \sqrt{(7.000/1,2)} > 5,08/0,12 \quad (4)$$

$$106,92 > 23,09 \text{ OK!}$$

(5)

Flambagem global

A flambagem global é expressa por:

$$\lambda_0 = \frac{K \times L}{R \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Sendo:

K = Coeficiente de flambagem por flexão

R = Raio de giração da peça

Para o perfil retangular de (4"x2"), o raio de giração é expressão por: $R = \sqrt{\frac{I}{A_g}}$ (1)

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \left(\frac{10,16 - 5,08^3}{12} \right) - \left(\frac{9,76 - 4,64^3}{12} \right) = 29,75 \quad (2)$$

$$A_g = (10,16 \times 5,08) - (9,76 \times 4,64) = 6,33 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

$$\text{Então } R = 2,17 \quad (4)$$

Considerar K= 1,0, pois é uma haste bi rotulada.

$$\lambda_0 = \frac{1,0 \times 300}{2,17 \times \pi} \sqrt{\frac{1,2}{7.000}} = 0,576$$

O maior índice de esbeltez das barras comprimidas, $k.L/r$, não deve ser superior a 200, portanto:

$$\frac{K \times L}{R} < 200 \quad \frac{1,0 \times 300}{2,17} = 138,25 < 200 \text{ OK!} \quad (1)$$

$$\lambda_0 = 0,576 < 1,50 \quad \therefore \quad x = 0,658\lambda_0^2 \quad x = 0,870 \quad (2)$$

$$C_{RD} = \frac{X \times K \times A_g \times f_y}{1,1} \quad (3)$$

$$C_{RD} = \frac{0,870 \times 1,0 \times 6,33 \times 1,2}{1,1} = 6,01 \quad (4)$$

$$22,1 > 6,01 \quad \therefore \quad 6,01 > C_{SD} \quad (5)$$

A peça de (4" x 2") atende as solicitações de cálculo podendo ser utilizada nos banzos da treliça.

3.3.2 Perfil circular

Para os perfis circulares, os montantes apresentaram maior esforço de compressão axial resistente de cálculo (CRD) correspondente a 10,2 KN, de perfil (2^{1/2"}). Para estes perfis a NBR 8800, também estabelece as condição de estabilidade para os estados limites do elemento comprimido, o valor da força axial de compressão resistente de cálculo (CRD) terá que ser maior ou igual à força axial de compressão solicitante (CSD).

$$C_{RD} \geq C_{SD}$$

Flambagem local

Para a flambagem local classificadas em AA, duas bordas longitudinais vinculadas, é considerado por:

$$D/e = 6,35/0,22 = 28,86 \quad (1)$$

Sendo:

D – Diâmetro da peça (considerando 1 pol. = 2,54)

e - Espessura da peça

Para que as barras comprimidas circulares sejam consideradas totalmente efetivas (considerando Q = 1), a relação D/ e < 0,11. E/f_y deve existir.

$$28,86 < 0,11 \cdot 7.000/1,2 = 641,66 \text{ OK!} \quad (2)$$

Flambagem global

A flambagem global é expressa por:

$$\lambda_0 = \frac{K \times L}{R \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Sendo:

K = Coeficiente de flambagem por flexão

R = Raio de giração da peça

$$\text{Para o perfil circular de } (2^{1/2}"), \text{ o raio de giração é expressão por: } R = \sqrt{\frac{I}{A_g}} \quad (1)$$

Sendo:

I – Momento de inércia de peça

A_g – Área bruta

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} = \frac{\pi \cdot (6,35^4 - 6,13^4)}{4} = 167,98 \quad (2)$$

$$A_g = \pi \cdot (6,35^2 - 6,13^2) = 8,62 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

$$R = \sqrt{\frac{167,98}{8,62}} = 4,41 \quad (4)$$

Considerar K= 1,0, pois é uma haste bi rotulada. (5)

$$\lambda_0 = \frac{1,0 \times 30}{4,41 \times \pi} \sqrt{\frac{1,2}{7.000}} = 0,0283 \quad (6)$$

O maior índice de esbeltez das barras comprimidas, k.L/r, não deve ser superior a 200, portanto:

$$\frac{K \times L}{R} < 200 \quad \frac{1,0 \times 30}{4,41} = 6,80 < 200 \text{ OK!} \quad (7)$$

$$\lambda_0 = 0,0283 < 1,50 \quad \therefore \quad x = 0,658^{\lambda_0^2} ; \quad x = 0,658^{0,283^2} \quad x = 0,999 \quad (8)$$

O cálculo de compressão resistente de cálculo é expresso por:

$$C_{RD} = \frac{X \times K \times A_g \times f_y}{1,1} \quad (9)$$

$$C_{RD} = \frac{0,999 \times 1,0 \times 8,62 \times 1,2}{1,1} = 9,40 \text{ KN} \quad (10)$$

$$10,2 > 9,40 \quad \therefore \quad 9,40 > C_{SD} = 5,9 \text{ KN} \quad (11)$$

A peça de ($2^{1/2}$) atende as solicitações de cálculo podendo ser utilizada nos montantes e diagonais da treliça.

4 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos através realizados, pode-se perceber que há grande semelhança no dimensionamento de treliça metálica de alumínio com o dimensionamento de estruturas em aço, apresentando coeficientes iguais.

Pode-se perceber que a treliça calculada pode ser realizada com perfis de alumínio comercializável, sendo o 6060 – T5 o perfil de base para os cálculos de resistência a tração.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, M. C. P; Projecto de uma ponte pedonal em alumínio de acordo com a nova regulamentação. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edifícios;

_____. NBR 6123 - Forças devidas aos ventos em edificações;

_____. NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;

_____. NBR 15329 - Ligas de alumínio para uso estrutural na arquitetura e na construção civil – Especificação;

_____. NBR 7000 – Alumínio e suas ligas;

BELLEI, I. H; PINHO, F. O; PINHO, M. O; Edifícios de Múltiplos Andares em Aço, Editora PINI, 2008;

BUZINELLI, D. V. Dimensionamento de elementos estruturais em alumínio, Dissertação: UFSP. São Paulo. 2000.