

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS ARTICULADAS EM AÇO PARA TRELIÇA EM ARCO PELA NBR 8800:2008, EUROCODE 3 E ANSI/AISC 360-05

Rogério dos Santos (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) rogeriogero@hotmail.com, (2) marciovito@unesc.net

RESUMO

A redução de custos, consumo de recursos naturais e de energia na construção civil, nos remete a verificar se a norma utilizada em estruturas de aço no Brasil está de acordo com os principais conjuntos de normas internacionais, considerando as normas utilizadas nos principais centros do mundo, como Europa e Estados Unidos. Com base nisso, o presente trabalho apresenta uma comparação de dimensionamento de estruturas articuladas em aço para treliça em arco, com um modelo de treliça otimizada para a redução no consumo de aço, realizando os cálculos baseado na NBR 8800:2008, EUROCODE 3 e ANSI/AISC 360-05. São demonstradas as fases de quantificação de ações, combinações de carga, análise estrutural, dimensionamento e verificações das treliças que utilizam perfis metálicos do banco de dados da AISC. Ao final, conclui-se que o resultado do cálculo das solicitações é bem maior utilizando os parâmetros exigidos pela EUROCODE 3, onde o fator vento é o item que mais diferencia as cargas entre as três normas. No comparativo de consumo, a norma NBR 8800:2008 e ANSI/AISC 360-05 teve uma redução de 37,75% no consumo de aço em relação a EUROCODE 3. Não houve alteração no consumo de aço entre a norma ANSI/AISC 360-05 e NBR 8800:2008.

Palavras-chave: NBR 8800:2008, EUROCODE 3, ANSI/AISC 360-05, Consumo de aço.

1 INTRODUÇÃO

Em nosso país, entre 4% e 5% dos prédios construídos com mais de quatro andares usam estrutura de aço. Já na Inglaterra, o percentual é de mais de 70% segundo informações do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA). Segundo Tomazelli (2011), diretor executivo do CBCA, não há restrições técnicas, legais ou

de disponibilidade de materiais que impeçam a utilização dessa tecnologia em larga escala no país. O que existe é uma limitação de ordem cultural. De acordo com Inaba e Coelho (2015) os últimos dez anos mostram que a construção civil brasileira está em pé de igualdade com o que existe de mais moderno no mundo e são prova definitiva de que a construção em aço atingiu um novo patamar em solo brasileiro. Para Andrade (2000) a tendência na área de construção é de aumentar a utilização da estrutura em aço, ainda carente no Brasil por um fato cultural e histórico.

A indústria de estruturas de aço, amplamente difundida em países como Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha há décadas, vem apresentando um expressivo crescimento no Brasil nos últimos anos. O consumo de aço destinado às estruturas de aço passou de 324 mil toneladas em 2002 para 1,6 milhão de toneladas em 2009, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e os desembolsos do BNDES destinados a empresas do setor saltaram de cerca de R\$ 6 milhões em 2001 para mais de R\$ 156 milhões em 2010 (FALEIROS; TEIXEIRA; SANTANA, 2012, p.48).

A importância de deixar o bloqueio cultural de lado, capacitar mão de obra e investir em projetos de qualidade, seguindo os passos dos países desenvolvidos, são elementos necessários para o aumento da utilização de estruturas de aço no Brasil. O projeto e a execução de edificações em estruturas de aço são regidos por normas específicas. Na Europa o regimento das normas específicas ficam por conta dos EUROCODES que são um conjunto de códigos europeus de projeto estrutural para a construção de obras de Engenharia Civil. Esses códigos foram desenvolvidos nos últimos trinta anos através das experiências dos Estados membros da União Europeia, que hoje representam os códigos estruturais mais avançados do mundo. A EUROCODE que trata de estruturas em aço é a EUROCODE 3 (EN 1993, ou EC3). No Brasil, o projeto e a execução seguem as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A NBR 8800 é a norma específica para estruturas de aço e mistas. No ano de 2008 a NBR 8800 passou por uma revisão e atualização com uma nova versão. Essa atualização teve como referência normas internacionais, como a norma ANSI/AISC 360-05, a própria EUROCODE 3 (EN 1993-1:2005) e EUROCODE 4 (EN 1994-1:2005). Sendo assim, a NBR 8800:2008 incorpora o que existe de mais moderno no mundo e visa contribuir para a construção em estruturas de aço e mista no Brasil.

A indústria nacional de estruturas de aço em perfis e tubos em aço tem orientação competitiva conduzida, preponderantemente, pelo aumento de participação de mercado via racionalização e redução de custos (Lopes, 2001).

Em um estudo comparativo apresentado por Almeida (2012) em sua tese de Mestrado, na Universidade Fernando Pessoa em Portugal, revela que:

Os perfis para pórticos industriais em alma cheia são mais vantajosos do que os perfis treliçados para pórticos com até vinte metros de largura, no que tange ao consumo de aço. A partir de vinte metros, os perfis treliçados começam a ganhar vantagem, mas sem levar em conta os excessos de gastos com pintura, manutenção, além de mão de obra e transporte mais caros, pois se tratam de elementos menores e esbeltos.

As Treliças são estruturas constituídas, basicamente, por barras retas unidas apenas pelas extremidades, através de nós articulados. Como os esforços são aplicados apenas nesses nós, somente esforços axiais de tração e compressão atuam nas barras. Na prática, os nós raramente são rotulados, sendo as barras conectadas através de rebites, parafusos ou soldas (TISOT, MEDEIROS e KRIPKA, 2010, p.1).

Segundo Pereira (2007), nos dias atuais é muito comum utilizar estruturas treliçadas em projetos de grandes construções. Estas estruturas são bastante utilizadas em situações onde deseja-se obter uma estrutura leve, mas com elevada resistência.

As treliças têm campo de aplicação muito vasto: são usadas nas estruturas de cobertura, desde vãos pequenos e médios, como nas edificações residenciais e industriais, até grandes vãos, como nas coberturas de estádios, de estações metroviárias; são também usadas nas pontes rodoviárias e ferroviárias. (BREUNING, 2008, p.25).

Santos (2011), presidente da Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM) em 2011 comentou que no mercado europeu, e principalmente na Inglaterra, bem como nos Estados Unidos, o consumo de aço para construção civil gira em torno de 100 kg per capita ao ano, enquanto no Brasil não chega a 12 kg. Este estudo tem como principal objetivo comparar o dimensionamento de uma estrutura articulada em aço para treliça em arco, calculado pela NBR 8800:2008, EUROCODE 3 e ANSI/AISC 360-05, destacando e analisando as principais divergências encontradas e suas influências na estrutura, e evidenciando o que há de diferente em se projetar uma treliça em aço no Brasil, na Europa e nos Estados Unidos.

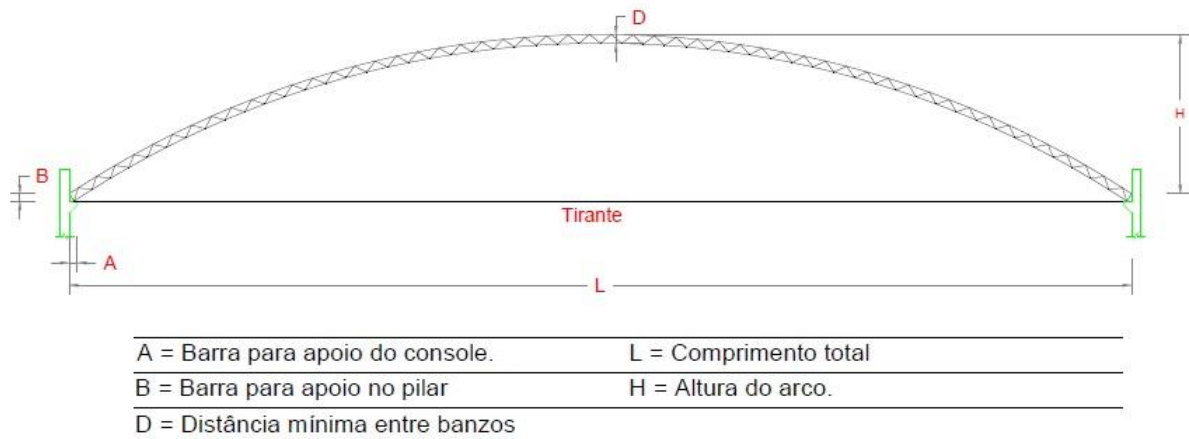
Para os cálculos efetuados foram considerados integralmente todos os quesitos de segurança incluindo as limitações geométricas normativas e através dos resultados obtidos foi possível identificar as diferenças entre se calcular uma treliça articulada em forma de arco utilizando a norma NBR 8800:2008, EUROCODE 3 (EN 1993-1:2005) e ANSI/AISC 360-05.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 TOPOLOGIA ADOTADA

Como proposta de pesquisa sugerido por Caetano e Vito (2014), em realizar a comparação do método de dimensionamento da EUROCODE 3 de 2005 com a NBR 8800:2008, para verificar se há alteração no consumo de aço, foi adotada a mesma topologia utilizada na pesquisa que sugeriu a comparação, com o acréscimo da norma ANSI/AISC 360-05 no comparativo. Trata-se da topologia mais adotada na região sul catarinense, sendo esta a treliça plana em arco do tipo *Warren*. Para a eficiência teórica e prática às mesmas considerações de projeto foram utilizadas, referentes ao uso para o qual a treliça foi dimensionada, como o tipo de apoio, assegurando o sistema imposto pela treliça e ao mesmo tempo facilidade na execução, um par de tirantes impedindo as reações horizontais nos pilares e a adoção de um único perfil para toda a treliça. Através destas considerações foi estabelecida a utilização de apoios rotulados e as barras correspondentes às dimensões A e B constantes, fixadas ao console/pilar com valores de 23 cm e 21cm respectivamente. A relação H/L adotada foi de 0,150 (m/m), o número de divisões (U) igual à 52 correspondente a barras de aproximadamente 62cm, 25cm para distância mínima entre os banzos superior e inferior (D) e o comprimento da treliça (L) definido em 30m, sendo assim o modelo de treliça que obteve maior economia no estudo aplicado(Figura 01).

Figura 1 - Topologia adotada como referência



Fonte: Do Autor (2016).

2.2 CARGAS ATUANTES NA ESTRUTURA

Após a definição do modelo de referência foram definidas as cargas permanentes e acidental que atuam na estrutura, totalizando uma carga de projeto de 0,8 kN/m², conforme Tabela 1.

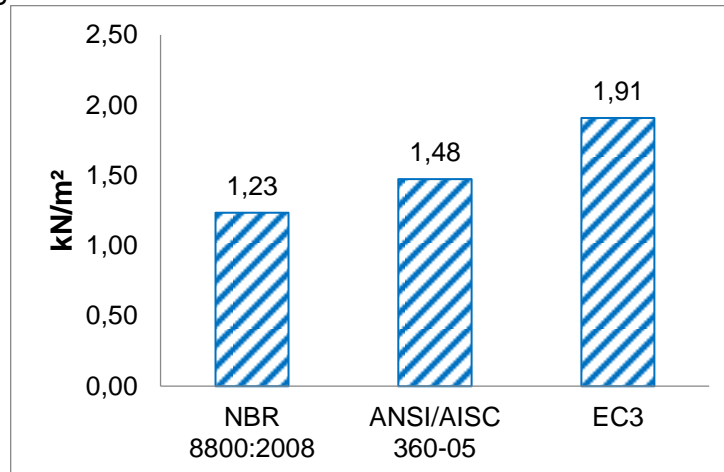
Tabela 1 - Cargas atuantes

Cargas	kN/m ²
Telhas Metálicas	0,20
Instalações	0,20
Peso Próprio da Estrutura	0,25
Carga Acidental de uso e variação	0,15
Carga de Vento Considerando a Estrutura em Criciúma/SC	

Fonte: Do Autor (2016)

A quantificação da carga de vento foi determinada tendo em conta os coeficientes de pressão interna e externa, tanto de acordo com a NBR 6123/88 para os cálculos utilizando a NBR 8800:2008, assim utilizando a EN 1991-1-4 que determina a ação de vento na estrutura para utilização nos cálculos na EUROCODE 3. Para os cálculos de vento para a norma ANSI/AISC 360-05, foram utilizados os parâmetros da norma ASCE 7-10 que estabelece os critérios na quantificação da carga de vento. Os valores das cargas de vento são apresentados no Gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1 - Carga de Vento



Fonte: Do Autor (2016)

2.3 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Após os cálculos das ações que atuam na estrutura é feita uma combinação dessas ações de forma a obter os valores de cálculo dos esforços atuantes na estrutura. Foram realizadas três combinações, denominadas Fd1, Fd2 e Fd3. Fazendo uma comparação entre as combinações, salienta-se que a fórmula para o cálculo das mesmas é semelhante, diferenciando-se nos valores dos coeficientes, sendo (γ) coeficiente de majoração e (ψ) coeficiente de redução, como segue na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Coeficientes de Majoração e Redução

Norma	Carga Permanente		Carga Acidental		Carga de Vento	
	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ
NBR 8800:2008	1,25	-	1,50	0,70	1,40	0,60
EUROCODE 3	1,35	-	1,50	0,90	1,50	0,90
ANSI/AISC 360-05	1,20	-	1,00	0,70	1,00	0,50

Fonte: ANBT NBR 8800:2008 – EN 1993-1:2005 – ANSI/AISC 360-05

A EUROCODE 3 utiliza o valor de 1,35 para a majoração da ação permanente favorável, enquanto que a NBR 8800:2008 utiliza o valor de 1,25 para a majoração das cargas permanentes, comparando a norma ANSI/AISC 360-05 que utiliza o menor coeficiente entre as três normas para majoração da ação permanente no valor de 1,20. O coeficiente relativo à majoração de sobrecarga é o mesmo para as

normas brasileira e europeia, com o valor de 1,50. Enquanto o coeficiente utilizado na norma americana é de 1,60. Devido ao modo diferenciado dos cálculos da ação de vento, apresenta-se coeficientes diferentes para todas as normas, sendo o coeficiente de 1,40 para a norma NBR 8800:2008, o valor de 1,50 para a norma EUROCODE 3 e o valor de 1,00 para a norma ANSI/AISC 360-05. Quando se trata dos coeficientes de redução de carga, temos a EUROCODE 3 como sendo a mais conservadora reduzindo apenas dez por cento para carga Acidental e carga de Vento. Para a carga acidental, a norma brasileira e a americana apresentam o mesmo coeficiente, sendo esse valor de 0,70. Os coeficientes de redução de carga de vento para a norma brasileira é de 0,60, enquanto para a norma americana o valor de redução é de 0,50.

De acordo com a norma NBR 8800:2008 em seu item 4.7.7, nas combinações de carga devem estar incluídas as ações permanente, a ação variável principal e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos nas combinações. A EUROCODE 3 segue os mesmos requisitos exigidos nas combinações de carga usadas pela norma brasileira, onde na norma europeia estabelece a EN 1990 (Basis of Structural Design) no item 6.5.3 os mesmo parâmetros existentes na NBR 8800:2008. Sendo assim, foram adotadas as mesmas combinações de carga, com a diferenciação nos coeficientes de majoração e redução de carga. A norma ANSI/AISC 360-05 no item B2 indica a utilização de combinações já estabelecidas na norma ASCE/SEI 7-10 na seção 2.3, onde foram adotadas três combinações compatíveis com as adotadas nas normas NBR 8800:2008 e EUROCODE 3. As combinações utilizadas segue na Tabela 3 abaixo, onde (D) representa carga permanente, (L) carga acidental e (W) carga de vento.

Tabela 3 - Combinações de Carga

Combinação	NBR 8800:2008 (kN/m)	EUROCODE 3 (kN/m)	ANSI/AISC 360-05 (kN/m)
Fd1	1,25D + 1,50L + 1,40x0,60W	1,35D + 1,50L + 1,50x0,90W	0,90D + 1,00W
Fd2	1,25D + 1,40W + 1,50x0,70L	1,35D + 1,50W + 1,50x0,90L	1,20D + 1,00W + 1,00x0,70L
Fd3	1,25D + 1,50L	1,35D + 1,50L	1,40D + 1,00L

Fonte: Do Autor (2016)

Com as combinações de carga definidas, foram calculados os valores das ações

verticais, como nos mostra a Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Ações verticais das combinações

Combinação	NBR 8800:2008 (kN/m)	EUROCODE 3 (kN/m)	ANSI/AISC 360-05 (kN/m)
Fd1	-0,78	-5,60	-10,52
Fd2	-7,66	-17,41	-6,72
Fd3	-10,87	-11,32	-9,80

Fonte: Do Autor (2016)

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS E ESPECIFICAÇÕES DOS AÇOS UTILIZADOS

Para o dimensionamento seguindo a NBR 8800:2008 foram utilizadas as propriedades mecânicas do aço descrita no item 4.5.2.9 da respectiva norma. O item 3.2.6 da EC3 parte 1-1 demonstra as propriedades mecânicas e especificações dos aços que foram utilizados para o cálculo de dimensionamento segundo a EUROCODE 3. As especificações das propriedades mecânicas da norma ANSI/AISC 360-05 são descritas na simbologia da norma no corpo do próprio documento. Adotou-se o aço MR250 cujo valor de tensão limite (f_y) é de 250 MPa e tensão última (f_u) de 400 MPa e para os tirantes o aço A572-Grau 65 com tensão limite (f_y) e tensão última (f_u) de 450 MPa e 550 MPa respectivamente. A NBR 8800 (2008) apresenta no anexo A nas tabelas A-1 e 2 as especificações dos aços utilizados com finalidade estrutural. As especificações segue na Tabela 5 apresentada abaixo:

Tabela 5 - Especificações mecânicas do aço

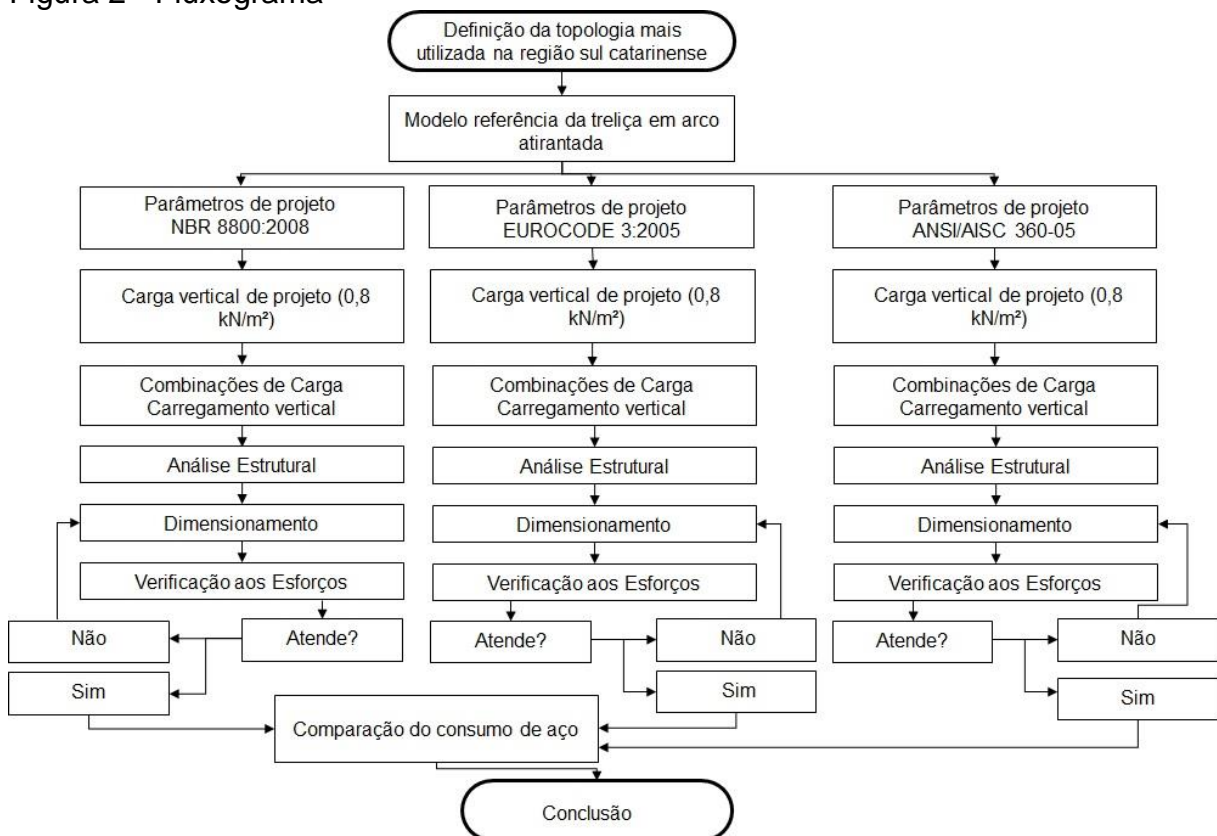
Norma	Módulo de Elasticidade e E (MPa)	Coefficiente de Poisson ν_a (adm)	Coefficiente de dilatação térmica β_a ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Módulo de Distorção G (MPa)	Massa específica ρ_a (kg/m^3)
NBR 8800:2008	200.000	0,3	$1,2 \times 10^{-5}$	77.000	7850
EUROCODE 3	210.000	0,3	$1,2 \times 10^{-5}$	81.000	7850
ANSI/AISC 360-05	200.000	0,3	$1,4 \times 10^{-5}$	77.200	7850

Fonte: ANBT NBR 8800:2008 – EUROCODE 3 – ANSI/AISC 360-05

2.5 SELEÇÃO DOS PERFIS

Optou-se pelo perfil “U” do banco de dados da AISC (American Institute of Steel Construction) versão 14.0 devido a sua variabilidade, pois possui valores intermediários aos das tabelas encontradas no Brasil. Para facilitar o andamento do estudo bem como sua compreensão os processos realizados pelo autor seguiram um fluxograma conforme Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Fluxograma



Fonte: Do Autor (2016)

2.6 DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS

Para o lançamento e cálculo das treliças foi adotado o *software* versão Estudantil Autodesk Robot Structural Analysis 2014, seguindo os quesitos exigidos pela EUROCODE 3, especificamente o item 6.2.3 para o cálculo das barras submetidas à tração e o item 6.3 para as barras submetidas à compressão. A verificação da curva

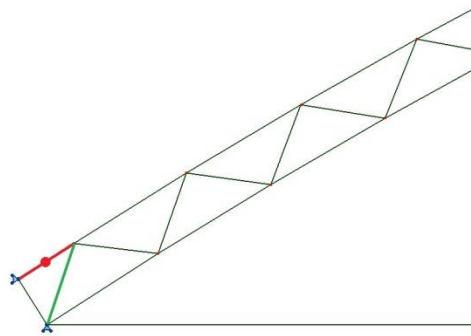
de flambagem para o perfil selecionado cumpriu as determinações das tabelas 6.1 e 6.2 da EUROCODE 3. Todas as verificações de força axial de tração e compressão foram analisadas também conforme determinação da NBR 8800:2008 no seu item 5.2.2 para as forças de tração e o item 5.3.2 para as forças decorrentes de compressão. Para a verificação da curva de flambagem no dimensionamento utilizando a NBR 8800:2008 foi obedecido o que determina o Anexo F da norma brasileira. Para análise das forças de tração, compressão e flambagem mediante a norma americana, os parâmetros utilizados onde determina a respectiva norma ANSI/AISC 360-05 foram o item D para esforços de tração, item E para os esforços de compressão e o item F para os esforços de flambagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram que os diferentes coeficientes de majoração de carga e redução de carga, incluindo o diferente método de cálculo da carga de vento nas três normas, influenciam diretamente na combinação de carga, assim gerando resultados diferentes para as cargas aplicadas e conseqüentemente afetando no consumo de aço. Para o dimensionamento utilizando a norma NBR 8800:2008 foi utilizada a carga da combinação Fd3 com valor de 10,87 kN/m. Para o dimensionamento utilizando a norma EUROCODE 3 foi utilizado a carga referente a combinação Fd2 de 17,41kN/m, assim como para a realização do dimensionamento para a norma ANSI/AISC 360-05 foi utilizado a carga que se apresenta na combinação Fd1 de 10,52 kN/m .

As barras que apresentaram o maior esforço de tração e maior esforço de compressão foram as mesmas para todas as normas. Para os esforços de tração, a barra tem um comprimento de 31 cm e para os esforços de compressão a barra tem um comprimento de 40 cm. Na Figura 3 temos a representação das barras com maior tração e maior compressão. Assim representando como Compressão (—●—) e para Tração (—■—).

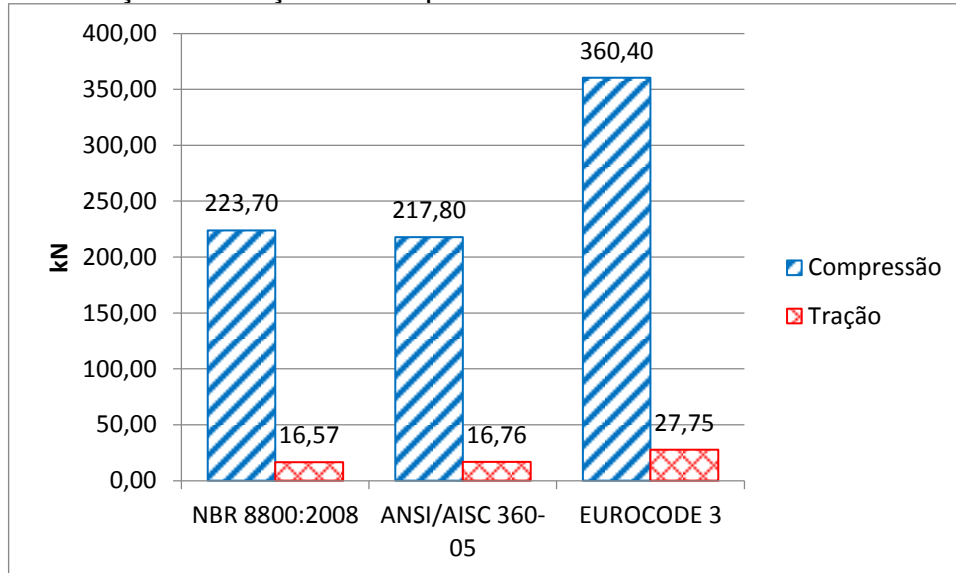
Figura 3 - Barra com maior Tração e maior Compressão



Fonte: Do Autor (2016)

No Gráfico 2, apresentam-se os valores dos maiores esforços de tração e de compressão resultantes as quais se apresentam na estrutura.

Gráfico 2 - Esforços de Tração e Compressão

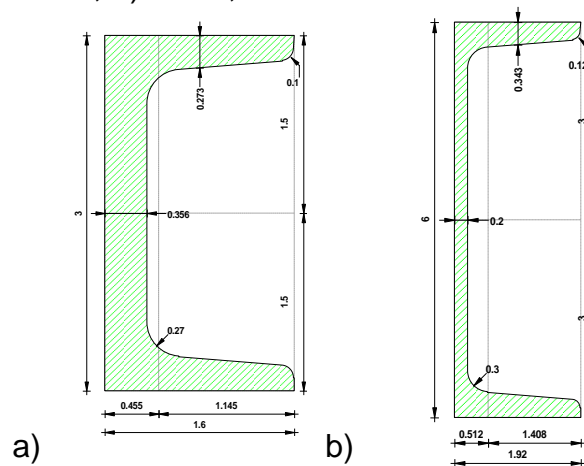


Fonte: Do Autor (2016)

Com a obtenção das forças de tração e compressão, foram dimensionadas as barras para atender aos esforços solicitantes. Para o atendimento do esforço de compressão e tração apresentada pela norma NBR 8800:2008 de 223,70 kN e 16,57 kN respectivamente, foi necessário a utilização de um perfil com área mínima de 9,85 cm², com isso foi dimensionado utilizando o perfil U 3" x 6 lb/ft, o que

representa um peso de 9,09 Kg por metro de aço e tem sua área de seção transversal de 11,35 cm². Para a obtenção do perfil que atendesse aos esforços apresentados na estrutura conforme a norma ANSI/AISC 360-05 que foram de 217,80 kN para esforços de compressão e de 16,76 kN para os esforços de tração, foi necessária a utilização de um perfil com área mínima de 9,58 cm², então foi utilizado o perfil U 3" x 6 lb/ft, correspondendo seu peso em 9,09 Kg por metro de aço e área da seção transversal de 11,35 cm². O perfil utilizado para atender aos esforços de compressão no valor de 360,40 kN e aos esforços de tração de 27,75 kN que se apresentou nos cálculos feitos seguindo a norma EUROCODE 3, deveria apresentar uma área mínima de 14,45 cm², então foi utilizado o perfil U 6" x 8,2 lb/ft, sendo seu peso de 12,34 Kg por metro de aço contendo área de seção transversal de 15,42 cm². A representação gráfica dos perfis adotado é ilustrado abaixo (Figura 4a e 4b).

Figura 4 – a) U 3" x 6lb/ft; b) 6" x 8,2lb/ft



Fonte: Banco de Dados de Seção: AISC 14.0

As verificações foram realizadas conforme os parâmetros exigidos em norma, obtendo os seguintes resultados, mostrados na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Verificação do Perfil

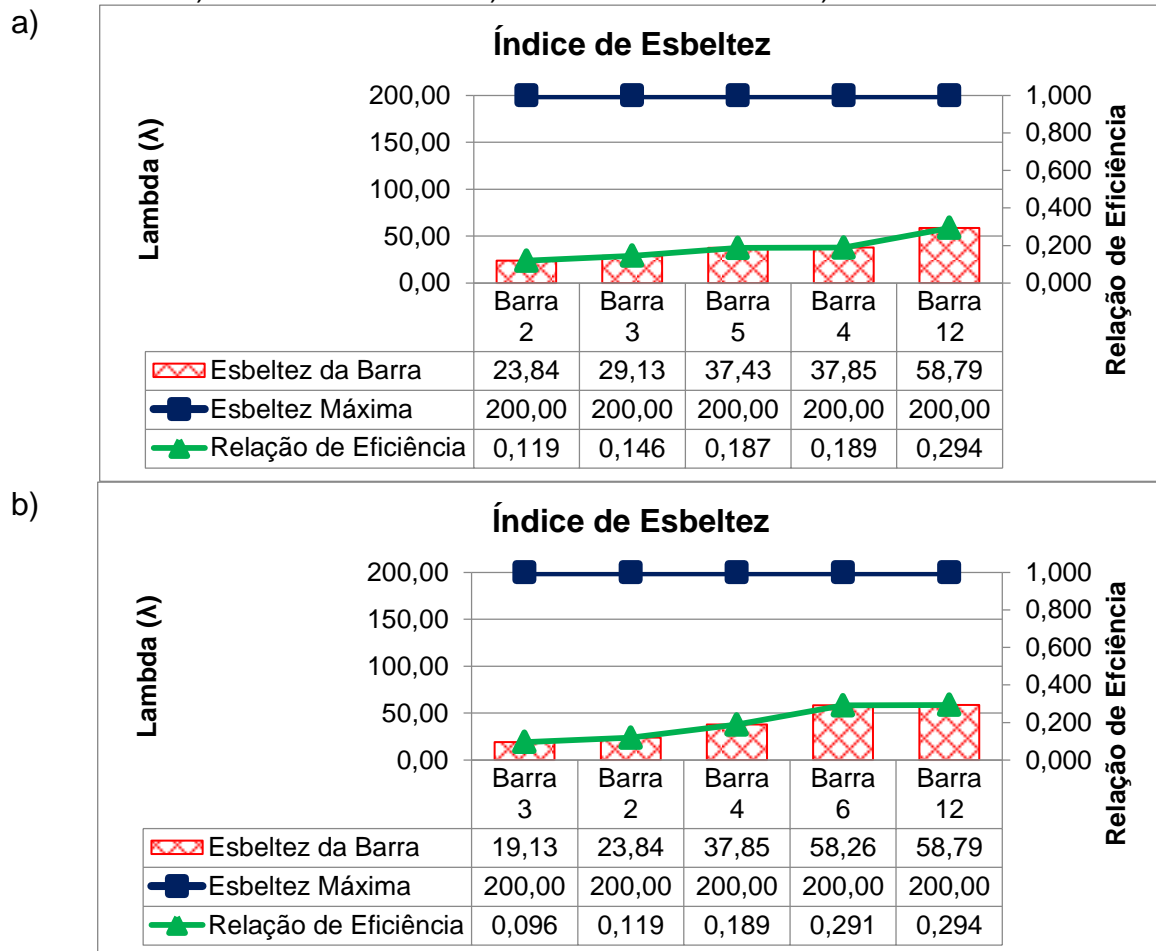
Normal	Força	Área Mínima (cm ²)	Área do Perfil (cm ²)	Carga Resistente (kN)	Carga Projeto (kN)	Relação de Eficiência
NBR	Compressão	9,85	11,35	265,39	223,70	0,84

8800:2008	Tração	9,85	11,35	283,87	16,57	0,06
ANSI/AISC 360-05	Compressão	9,58	11,35	265,39	217,80	0,82
	Tração	9,58	11,35	283,87	16,76	0,06
EUROCODE 3	Compressão	14,45	15,42	375,20	360,40	0,96
	Tração	14,45	15,42	385,48	27,75	0,07

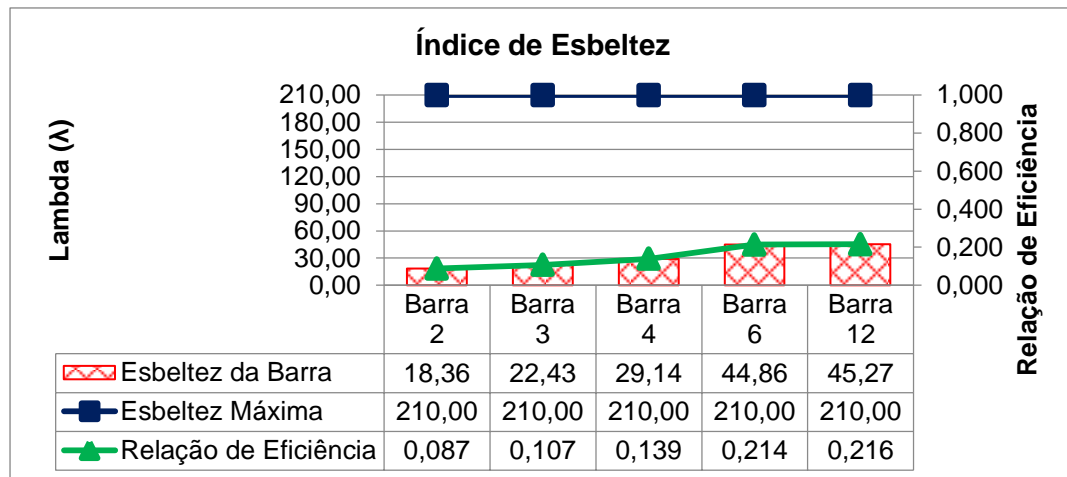
Fonte: Do Autor (2016)

Para a conferência do índice de esbeltez das barras, foram verificadas através de uma relação de eficiência, conforme nos mostra abaixo (Gráfico 3a, 3b e 3c).

Gráfico 3 - a) NBR 8800:2008 - b) ANSI/AISC 360-05 - c) EUROCODE 3



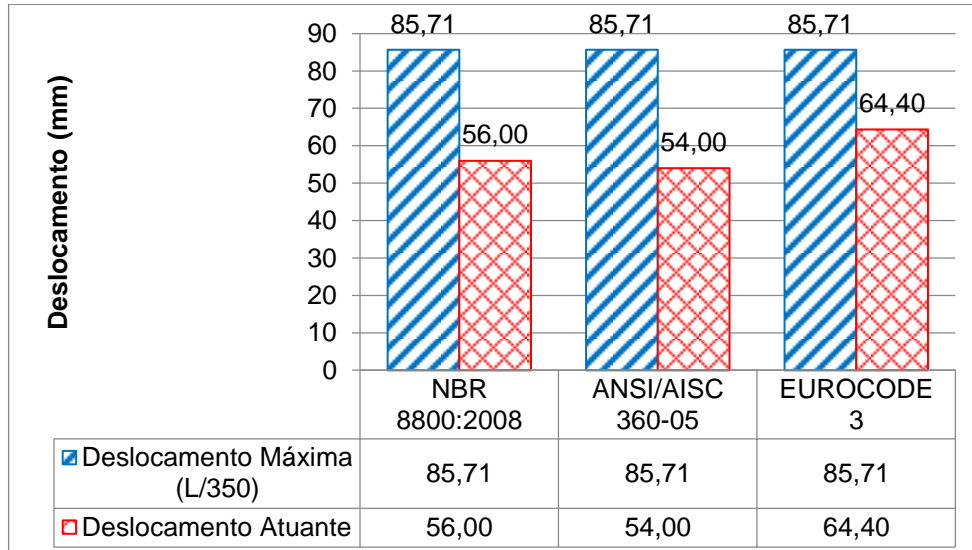
c)



Fonte: Do Autor (2016)

Conforme as barras dimensionadas para atender aos esforços de tração e compressão, foram verificados os deslocamentos verticais da treliça, o Gráfico 4 nos mostra a quantificação do deslocamento, utilizando a conferência de norma com deslocamento máximo sendo L/350 para as três normas analisadas.

Gráfico 4 - Deslocamento



Fonte: Do Autor (2016)

Para o cálculo da quantidade de aço necessária foram utilizadas as dimensões e quantidades de barras e cabo de aço utilizadas na treliça, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de Barras e Cabo

Tipo	Quantidade (uni)	Comprimento (m)
Barra	2	0,25
Barra	2	0,31
Barra	104	0,40
Barra	52	0,61
Barra	51	0,62
Tirante	1	30,00

Fonte: Do Autor (2016)

Com as quantidades e dimensões definidas, foi obtido um consumo total de 106,06 metros de barra de aço para a treliça analisada, ficando o consumo total apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Consumo de Aço

Norma	Perfil	Comprimento Total das Barras (m)	Peso (kg/m)	Peso Total (kg)
NBR 8800:2008	U 3" x 6 lb/ft	106,06	9,09	964,09
ANSI/AISC 360-05	U 3" x 6 lb/ft	106,06	9,09	964,09
EUROCODE 3	U 6" x 8,2 lb/ft	106,06	12,34	1308,78

Fonte: Do Autor (2016)

O comparativo dos quantitativos demonstra um aumento de 37,75% o que representa 344,69 kg no consumo de aço em relação feita entre a norma ANSI/AISC 360-05 e a EUROCODE 3. O mesmo resultado foi obtido fazendo a relação entre a norma EUROCODE 3 e NBR 8800:2008, o que nos demonstra que o consumo de aço entre a NBR 8800:2008 e ANSI/AISC 360-05 foi o mesmo, sendo de 964,09 kg.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo realizado possibilitou as seguintes conclusões:

- Cargas de vento diferentes, devido ao modo diferenciado do cálculo, dando uma diferença entre 22% á 35% na carga de vento dependendo da norma.
- O coeficiente de exposição pressão de velocidade da norma ANSI/AISC 360-05 e o coeficiente de exposição da EUROCODE 3 nos cálculos de carga de vento,

nos mostram que a situação geográfica é um fator preponderante no aumento do valor da carga de vento.

- Para as combinações das cargas, a EUROCODE 3 é a mais conservadora em se tratando de coeficiente de redução de carga. Dentre as três normas, há redução de apenas 10% do valor da carga, tanto para a carga accidental como para carga de vento. Desse modo, duas combinações da EUROCODE 3 ficaram com valores acima apresentadas pela NBR 8800:2008 e pela ANSI/AISC 360-05.
- Para o deslocamento devido a deformação da estrutura, todas as normas apresentaram um valor satisfatório, ficando em 34,66% abaixo do permitido para a NBR 8800:2008, em 36,99% abaixo para a norma ANSI/AISC 360-05 e de 24,86% abaixo para a EUROCODE 3.
- O dimensionamento pela NBR 8800:2008 e ANSI/AISC 360-05 apresentou-se a mais econômica nesse caso, ficando o consumo de aço 37,75% menor comparado ao consumo da EUROCODE 3.
- No entanto, não se pode concluir qual norma é a mais adequada, pois cada uma é feita para a sua situação geográfica e para os perfis comercializados na sua faixa de domínio.

5 PROPOSTAS PARA FUTURAS PESQUISAS

- ❖ Alterar a topologia da treliça tais como *Howe* e *Pratt*, e verificar se a diferença de consumo sofre alteração;
- ❖ Alterar o tipo de perfil e software e comparar as principais mudanças;
- ❖ Alterar modelo da treliça, tais como treliça de duas águas (tesoura) e verificar se a diferença de consumo sofre alteração;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Pedro Miguel Nunes. **Dimensionamento de Estruturas Metálicas segundo o Eurocódigo3. Análise comparativa entre diversas concepções estruturais para edifícios industriais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentado à Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2012.

American Institute of Steel Construction. **Steel Construction Manual Shapes Database:** AISC Shapes Database V14.1 - Current. 2015. Disponível em: <<https://www.aisc.org/content.aspx?id=2868>>.

ANSI/AISC 360-05. **Specification for Structural Steel Buildings.** Chicago, 2005.

ASCE/SEI 7-10. **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.** Virginia, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “**Forças Devidas ao Vento em Edificações**” - NBR 6123, 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, Rio de Janeiro, 2008.

BARBOSA, C.O. B.; CUNHA, R. E. V. DA. **Dimensionamento de treliças metálicas usuais padronizadas, com auxílio de uma ferramenta computacional e cálculos manuais.** 2013. 85p. Dissertação (Graduação) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, Belém, PA, 2013.

BREUNIG, M. N. **Análise do desempenho das diferentes topologias de estruturas treliçadas utilizadas em coberturas de pavilhões industriais.** 2008. 143p. Dissertação (Graduação) - Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul - Departamento De Tecnologia - Curso de Engenharia Civil, Ijuí, 2008.

CAETANO, Rafael. P.; VITO, Marcio. **Otimização geométrica aplicada a estruturas articuladas em aço para treliça em arco submetidas a carregamento vertical uniforme.** Artigo (Graduação) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, p.15, 2014.

CBCA. **Centro brasileiro da construção em aço.** Disponível em <<http://www.cbca-ibs.org.br/index.asp>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

EN 1990. **Basis of structural design.** Eurocode: Basis of Structural Design. Brussels, 2005.

EN 1993. **Design of steel structures.** Eurocode 3. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2005.

FALEIROS, J.P.M; JUNIOR, J.R.T.; SANTANA, B.M. **O Crescimento da Indústria Brasileira de Estruturas Metálicas e o Boom da Construção Civil: Um Panorama do Período 2001-2010.** 83p. Rio de Janeiro: BNDES 2012.

INABA, Roberto; COELHO, Catia M.C.S. **A evolução da construção em aço no Brasil.** Revista: Arquitetura & Aço, n.42. p.59, jul, 2015.

INSTITUTO AÇO BRASIL. CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual da construção em aço: Galpões para usos gerais.** 4ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

LOPES, J. A. E. **Produtividade da mão de obra em projetos de estruturas metálicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PEREIRA, J. P. G. **Heurísticas computacionais aplicadas à otimização estrutural de treliças bidimensionais.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PINHEIRO, Antônio Carlos da F. Bragança. **Estruturas Metálicas: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos.** 1ª edição. Editora Edgard Blucher Ltda, 2001.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a arquitetura.** 4. ed. São Paulo: Zigurate, 2000. 271 p.

SANTOS, Luiz Carlos C. **A hora e a vez do aço na construção brasileira.** Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=506>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SIMÕES, Rui. **Manual de dimensionamento de estruturas metálicas. Coleção Construção Metálica e Mista.** 2ª edição. CMM Press. Coimbra, 2007.

TISOT, G. D.; MEDEIROS, G. F.; KRIPKA, M. **Estudo de treliças metálicas para coberturas em duas águas através de otimização topológica.** In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2010, São Paulo – SP. 11p.

TOMAZELLI, Paulo. **A hora e a vez do aço na construção brasileira.** Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=506>. Acesso em: 15 nov. 2015.