



TRELIÇA DE AÇO COM VERGALHÕES

Mateus Aurélio da Costa Paula – engenheirocivilmateus@gmail.com

Alessandro Silva Oliveira – alessandrosilvaoliveira@hotmail.com

Victor Anezio Alves Bueno Ponchio – victorponchio@gmail.com

Cláudio Marra Alves – clmarra@terra.com.br

Williana Araújo Miranda – williana.miranda@gmail.com

Universidade Estadual de Goiás. Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas

Curso de Engenharia Civil

Endereço: Br 153 nº 3.105 - Fazenda Barreiro do Meio - Caixa Postal: 459. CEP: 75.132-903.

Anápolis - Goiás – Brasil

Resumo: *O presente trabalho foi proposto aos acadêmicos da disciplina de Estruturas Metálicas II da Universidade Estadual de Goiás, pelo professor Cláudio Marra Alves, com o objetivo de se colocar em prática os aprendizados e conhecimentos teóricos acerca da matéria, Estruturas de aço, em interdisciplinaridade com outras já cursadas durante o curso de Engenharia Civil. Além disso, é uma oportunidade de exercitar qualidades exigidas no mercado de trabalho, como a capacidade técnica de criação, o trabalho em equipe, o planejamento e organização no desenvolvimento de projetos e solução de problemas, dentro do prazo pré-estabelecido.*

Sendo assim, o trabalho em questão visa construir treliças de aço, utilizando vergalhões CA-60, biapoiadas de forma a vencer um vão livre de 700 milímetros, obtendo a maior eficiência possível (relação entre a carga obtida no ensaio e o somatório do peso da treliça).

Dessa forma, para a execução da treliça, foram realizadas modulações para escolher a melhor opção da geometria da estrutura e, conseqüentemente, obter o melhor resultado.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas, Treliça, Competição

1 INTRODUÇÃO

A Competição de Treliças de Aço, realizada na Universidade Estadual de Goiás, é um evento tradicional da Engenharia Civil e idealizado pelo professor Cláudio Marra. Estas competições, além de proporcionar aos acadêmicos envolvidos experiência prática dentre outras vantagens, desperta grande interesse por parte dos espectadores, maioria também acadêmicos de engenharia civil, promovendo a curiosidade e conseqüente busca por conhecimento.

Para a execução da estrutura, alguns dados foram estabelecidos em edital. Estes são, que a treliça deve ser plana, biapoiada na viga do pórtico fornecido pela UEG, com vão de 700 milímetros, formada por vergalhões de aço e sustentar o carregamento correspondente à no mínimo 800 Newtons e máximo 2000 Newtons em dois pontos de aplicação à 25cm dos centros dos apoios (direito e esquerdo). A treliça precisa suportar a carga calculada previamente para atingir algum Estado Limite - estado limite último ou de utilização/serviço. (MARRA, 2016)



Para ser possível sua construção, primeiramente foi planejado o modelo estrutural e feitos os cálculos necessários. Sendo assim, neste artigo, objetivando a maior compreensão acerca do trabalho realizado pelo grupo apresentado, são relatadas todas as fases do processo de idealização, dimensionamento, construção e execução do projeto.

Portanto, são apresentados brevemente o embasamento teórico, a concepção do melhor arranjo estrutural da treliça, os ensaios de resistência realizados, seus resultados e conclusões, os cálculos feitos, a montagem da estrutura e, por fim, os resultados da Competição e análises.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Elemento estrutural – Treliça

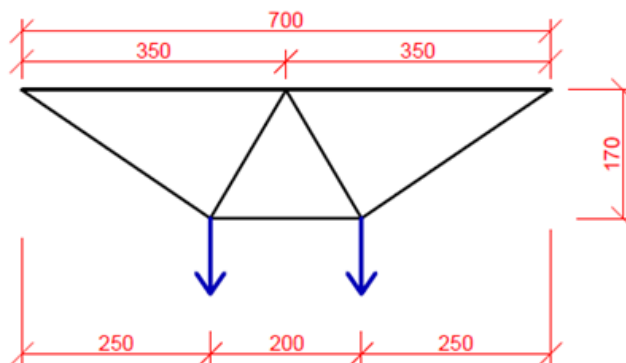
Treliça é toda estrutura constituída por elementos lineares delgados em barras retas, duplamente rotulados em suas extremidades por nós, e carregados com forças externas nos nós, de forma a se obter, como consequência, apenas esforços normais, isto é, de compressão e tração. (SORIANO, 2010)

Em treliças, em concepção clássica, não existem momentos fletores e nem esforços cortantes, pelo fato que as cargas são concentradas nas extremidades das barras constituintes. Quando uma carga concentrada entre dois nós ou distribuída é suportada pela treliça, são previstas vigas que transmitem a cargas às extremidades, como no caso de pontes. (BEER, 1994)

Pode-se considerar esta estrutura como bidimensional, pois é projetada para suportar cargas em seu plano. A análise das treliças pelo método de cálculo dos nós é uma forma de se determinar os esforços de compressão e tração nas barras, equilibrando forças nas extremidades em caso de treliças isostáticas. (BEER, 1994)

A estrutura do trabalho é simétrica, portanto seus esforços também serão, seguindo modelo proposto no regulamento da competição, os cálculos serão feitos através de um programa de análise estrutural desenvolvido pela UFRJ, conhecido como Ftool. Na verificação dos esforços utilizou-se do método dos nós.

Figura 1 – Modelo de cálculo da treliça, cotas em mm. Fonte: própria





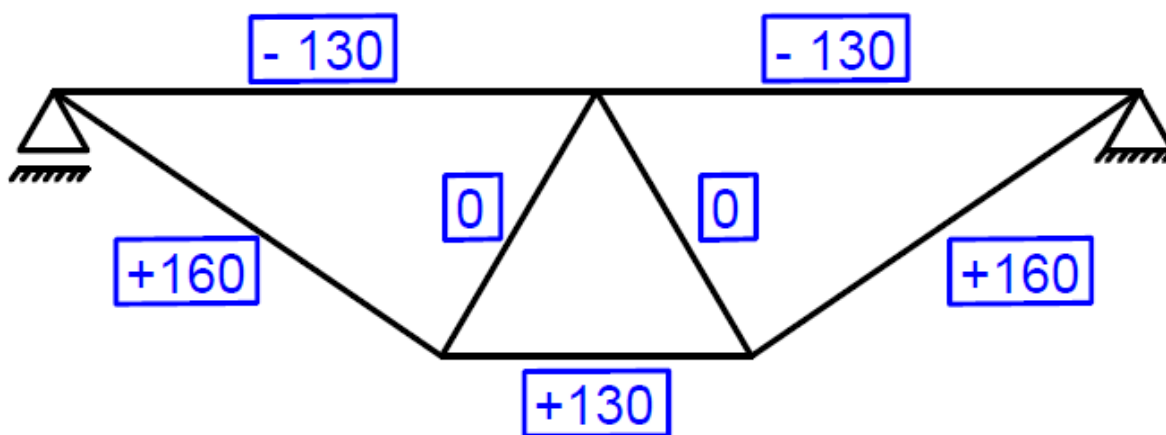
O banzo superior, tem 700 milímetros, o banzo inferior, 200 mm, as diagonais externas, 302 mm aproximadamente e 197 mm as diagonais internas do meio. A altura da treliça, entre os banzos, é de 170 mm. Serão usados vergalhões CA-60 de bitolas de 8 mm e 3,4 mm. Dessa forma, foi obedecido o parâmetro do edital que estabelece um paralelepípedo imaginário de 15 mm de espessura, 200 mm de altura e 800 mm de comprimento, em que deve estar contida a estrutura da treliça, além do item de índice de vazios, “definido pela relação entre a soma das áreas de exposição frontal das barras da treliça e a área de projeção frontal da treliça”, que deve ser menor que 0,5. (MARRA, 2016).

2.2 Análise da estrutura

Para escolher a melhor geometria da treliça, foram analisados diversos modelos, no software Ftool, para saber quais as reações e solicitações que a carga de 200 kgf causaria na estrutura, atentando-se para a compressão em barras mais longas, já que aumentaria a flambagem e consequentemente a possibilidade de ruptura.

Desse modo, encontrou-se um modelo que fosse mais reforçado nas barras comprimidas, de acordo com o Ftool, isto é, no banzo superior, compressões de 130 kgf, e no banzo inferior tração de 130 a 160 kgf.

Figura 2 – Esforços axiais na treliça isostática. Fonte: própria

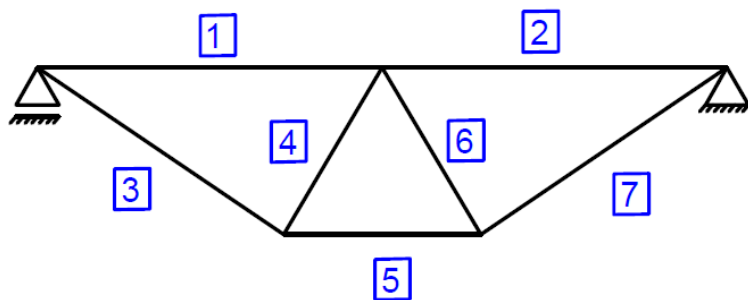


2.3 Cálculos para barras comprimidas

As barras foram enumeradas de 1 a 7 para possível análise, as barras 4 e 6 foram desconsideradas devido à falta de esforços, as barras 1 e 2 foram dimensionadas à compressão, as de número 3,5 e 7 foram dimensionadas à tração.



Figura 3 – Numeração das barras. Fonte: própria



A tabela 1 mostra este cálculo, que foi retirado da norma ABNT NBR 8800:2008. Inicialmente foi encontrado a esbeltez λ_0 com: o conhecimento do comprimento de cada barra, o raio de giração, o módulo de elasticidade, a resistência ao escoamento do aço e através da equação 1:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}} = \frac{\ell/r}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}} \quad (1)$$

ℓ – comprimento da barra

r – raio de giração calculado pela equação 2

$$r = \sqrt{(Momento\ de\ inércia / Área)} = \sqrt{I/A} \quad (2)$$

E – Módulo de elasticidade – 210 GPa

f_y – resistência ao escoamento – 600 MPa

Logo foi encontrado o módulo χ que é um fator redução da capacidade resistente, determinado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{para } \lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi &= 0,658^{\lambda_0^2} \\ \text{para } \lambda_0 > 1,5 \rightarrow \chi &= \frac{0,877}{\lambda_0^2} \end{aligned} \quad (3)$$

E conforme a ABNT NBR 8800:2008 a condição de segurança é verificada quando o valor de cálculo da carga normal resistente (N_{Rd}) de peças axialmente comprimidas for:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= \frac{N_{Rk}}{\gamma_a} \\ N_{Rk} &= \chi Q A f_y \\ \gamma_a &= 1,1 \end{aligned} \quad (4)$$



sendo:

A – área bruta

Q – 1, na ausência de instabilidade local

χ – fator redutor de capacidade resistente

γ_a – fator de redução do aço

Tabela 1 – Escolha da bitola dos vergalhões

ESCOLHA DAS BITOLAS DAS BARRAS COMPRIMIDAS DA TRELIÇA													
Diâmetro Nominal	Área da seção (mm²)	Momento de Inércia (mm4)	Raio de giração (mm)	Esbeltez		Módulo X		Resistência axial (kN/mm²)		Carga normal resistente na compressão (kgf)		Solicitação na barra (kgf)	
				Barra 1	Barra 2	Barra 1	Barra 2	Barra 1	Barra 2	Barra 1	Barra 2	Barra 1	Barra 2
Comprimento de flambagem da barra (mm)				350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
3,4	9,07	6,56	0,85	7,00	7,00	0,02	0,02	10,74	10,74	8,9	8,9	130	130
4,2	13,85	15,27	1,05	5,67	5,67	0,03	0,03	16,39	16,39	20,6	20,6	130	130
5	19,63	30,66	1,25	4,76	4,76	0,04	0,04	23,22	23,22	41,4	41,4	130	130
6	28,26	63,59	1,50	3,97	3,97	0,06	0,06	33,44	33,44	85,9	85,9	130	130
8	50,24	200,96	2,00	2,98	2,98	0,10	0,10	59,45	59,45	271,5	271,5	130	130
9,5	70,85	399,62	2,38	2,51	2,51	0,14	0,14	83,84	83,84	540,0	540,0	130	130
12,5	122,66	1197,81	3,13	1,90	1,90	0,24	0,24	145,15	145,15	1618,5	1618,5	130	130

2.4 Cálculos para barras tracionadas

Para o cálculo de barras tracionadas foi considerado o método dos estados admissíveis, pois verifica-se que no caso de tração centrada devido a uma carga variável, o método dos estados limites e dos estados admissíveis fornecem o mesmo dimensionamento. (PFEIL,2009)

Assim, a área bruta necessária é de:

$$A = N/f_y \quad (5)$$

A – área bruta

N – Força de tração na barra

f_y – Resistência ao escoamento da barra CA60 – 600 N/mm²

Como visto na tabela 2 abaixo, a área bruta necessária é facilmente atendida pelo vergalhão de menor bitola o 3,4mm.

Tabela 2 – Escolha das bitolas dos vergalhões



ESCOLHA DAS BITOLAS DAS BARRAS TRACIONADAS DA TRELIÇA									
Diâmetro Nominal	Área da seção (mm²)	Momento de Inércia (mm4)	Raio de giração (mm)	Solicitação na barra (kgf)			Área da seção das barras tracionadas (mm²)		
				Barra 3	Barra 5	Barra 7	Barra 3	Barra 5	Barra 7
Comprimento de flambagem da barra (mm)				302	200	302	302	200	302
3,4	9,07	6,56	0,85	160	130	160	2,67	2,17	2,67
4,2	13,85	15,27	1,05						
5	19,63	30,66	1,25						
6	28,26	63,59	1,5						
7	38,47	117,80	1,75						
8	50,24	200,96	2						
9,5	70,85	399,62	2,375						
12,5	122,66	1197,81	3,125						

2.5 Conclusão dos cálculos

- Para o cálculo da bitola dos vergalhões foram desconsideradas as barras internas 4 e 6, pois os cálculos no Ftool mostraram que nelas não há esforços, tanto de compressão como de tração;
- A barra que foi sujeita a um esforço de tração foi a de bitola 3,4 mm, pois à tração os esforços resultam em uma área de aço de 2,67 mm² e a menor bitola possui seção de aço de 9,07 mm², o que supõe que a treliça não romperá a tração;
- Para as barras sujeitas a esforços de compressão, foram escolhidas a de bitola 8 mm;
- As barras sem esforços foram dimensionadas para as de menor bitola 3,4 mm, estas são importantes, para reduzir o comprimento de flambagem nas barras comprimidas;

2.6 Montagem da estrutura

Para a montagem da estrutura, primeiramente buscou-se utilizar todos os EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) necessários, foi procurado um profissional habilitado que produziu a treliça, o banzo inferior foi constituído por uma barra única que fora dobrada nos nós formados pelo encontro das diagonais internas, o banzo superior também é uma barra única, e as duas diagonais internas são as outras barras da estruturas, a solda foi feita em todos os nós e a treliça foi construída com 4 vergalhões. Materiais utilizados:

2.6.1. Para a treliça:

- Vergalhões aço CA-60 de 3,4 mm e 8 mm de diâmetro;
- Solda com eletrodo E60 em cada articulação;

2.6.2. Para os apoios:

- Aparato emborrachado;
- Fita adesiva marrom;

2.6.3. Para o sistema de aplicação de carga:

- Cabo de aço para colocação de pesos;
- Grampo para cabo de aço;
- Balde de alumínio de 1,7 gramas;
- Anilhas de 2,25 gramas, aproximadamente.

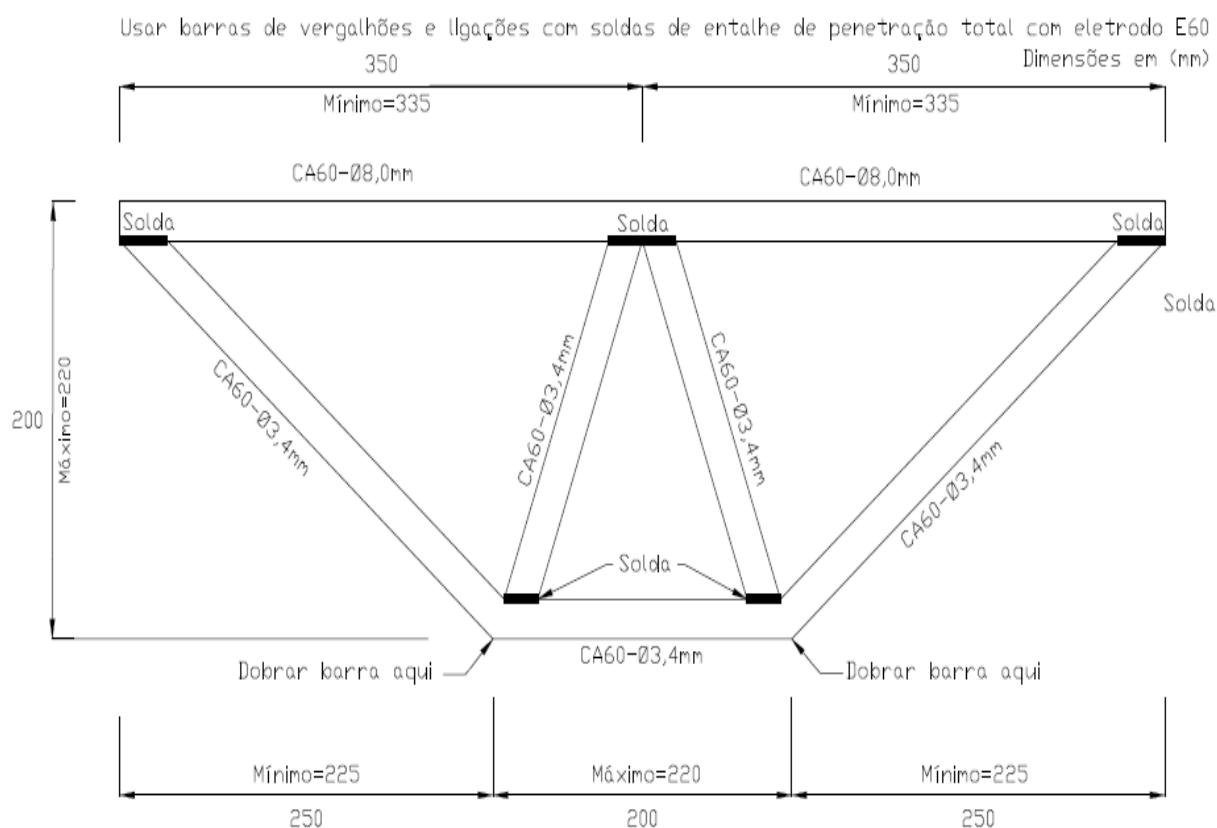


Figura 4 – Treliça metálica real. Fonte: própria



Na figura 5 percebe-se seu projeto executivo que foi desenvolvido levando em conta principalmente os efeitos de flambagem na parte comprimida da treliça, aumentando a seção das barras comprimidas, diminuindo assim as esbeltez, os espaçamentos mínimos e máximos foram calculados para que a treliça suporte uma carga de 200 kgf. Como será visto na figura abaixo:

Figura 5 – Projeto executivo da treliça de aço, cotas em mm. Fonte: própria



2.7 Resultados

O fator que foi considerado para a modelagem da estrutura foi o Coeficiente de Eficiência Definitivo (CED) que é um parâmetro de avaliação para a competição. A

Organização



UDESC
 UNIVERSIDADE
 DO ESTADO DE
 SANTA CATARINA



Promoção





concepção levou em conta o peso da treliça, assim foi preterido treliças mais leves possíveis. Este CED é calculado através da equação abaixo (MARRA,2016):

$$CED = \frac{P_{\text{obtido.ensaio}}}{(P_{\text{treliça}} + P_{\text{aparato}} + P_{\text{apoio}})} \geq 100 \quad (6)$$

Onde:

$P_{\text{obtido.ensaio}}$ = carga máxima suportada pela treliça

$P_{\text{treliça}}$ = peso próprio da treliça

P_{apoio} = peso do sistema de apoio

P_{aparatos} = peso dos cabos de aplicação das cargas

Este coeficiente seria o fator determinante da competição em questão, resumidamente é a quantidade de vezes que a treliça é capaz de suportar o seu próprio peso.

Figura 6 – Deformação na treliça atingindo o Estado Limite de Serviço.

Fonte: própria





O resultado final no ensaio foi que a estrutura treliçada sustentou 200 quilos até atingir o estado de limite de serviço, e sofrer uma deformação que a retirou do plano imaginário do pórtico aonde fora colocada. O peso da treliça foi de 420 gramas, o peso dos aparatos e apoios foi de 100 gramas. Assim o coeficiente CED foi de:

$$CED = 200 / (0,100 + 0,420) = 384$$

A treliça suportou um carregamento de 384 vezes maior que seu peso próprio.

Figura 7 – Treliça apoiada em um pórtico metálico realizando o ensaio. Fonte: própria



3 CONCLUSÃO

A realização da treliça para a competição contribuiu para o crescimento prático e criativo dos estudantes, além do uso da teoria da resistência de materiais, estruturas metálicas e estática das estruturas. A treliça em questão foi a vencedora da competição, pois seguiu as seguintes diretrizes:

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





- O peso da estrutura foi o menor possível;
- O acúmulo de conhecimentos do cálculo de estruturas metálicas;
- A escolha de uma estrutura isostática, com maior seção nas barras comprimidas, aumentando a esbeltez e diminuindo a flambagem.
- Prevvia-se a ruptura da treliça com uma carga de 271 kgf de compressão nas barras 1 e 2, a treliça sofreu flambagem por flexão com esforços de 130 kgf nas barras 1 e 2, o que é coerente, pois não havia se atingido o esforço último;
- A carga que provocaria um esforço de 271 kgf nas barras comprimidas não foi calculada, porém seria facilmente encontrado com as teorias de treliças isostáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEER, Ferdinand Pierre. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. 5ª ed. São Paulo. MAKRON Books, 1994.

CARVALHO, R.C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4ª edição. São Carlos-SP. EdUFSCar. 2014. 415p.

MARRA, Cláudio. **Regulamento da 2ª Competição de Treliças de Palito de Picolé**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás. 2016.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8ª edição. Rio de Janeiro, LTC, 2009.

SORIANO, Humberto Lima. **Estática das Estruturas**. 2ª ed. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna LTDA, 2010.

STEEL TRUSSES WITH REBAR

Abstract: *This study was proposed to scholars of Steel II Structures discipline of the State University of Goiás, by Claudio Marra Alves advisor, in order to put into practice the learning and theoretical knowledge of the subject matter, in interdisciplinary with other already routed during the course of Civil Engineering. Moreover, it is an opportunity to exercise qualities required in the labor market, such as the technical capacity building, teamwork, planning and organization development projects and problem solving within the pre-set deadline.*

Thus, the job in question aims to build steel trusses using CA-60 rebars, biapoiadas in order to win a span of 700 mm, obtaining the highest possible efficiency (ratio between the load obtained in the test and the weight of the sum of trellis).

Thus, for the implementation of trellis modulations were performed to determine the best choice of geometry of the structure, and consequently to obtain the best result.

Keywords: *Steel structures, Trusses, Competition*