



TRELIÇA DE PALITO DE PICOLÉ

Mateus Aurélio da Costa Paula – engenheirocivilmateus@gmail.com

Isabella Faria Santos – isa_bellafantsos@hotmail.com

Lívia Alla Silva – liviaalla@gmail.com

Williana Araújo Miranda – williana.miranda@gmail.com

Cláudio Marra Alves – clmarra@terra.com.br

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 de Madeira 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 em questão, 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 madeira, utilizando palitos de picolé, 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 realizados ensaios com os palitos de picolé, para se ter conhecimento da resistência da madeira e, assim, escolher a melhor opção da geometria da estrutura e, conseqüentemente, obter o melhor resultado.

Palavras-chave: *Estruturas de Madeira, Treliça, Competição*

1 INTRODUÇÃO

Esta treliça foi feita para a competição de treliças de palitos de picolé, 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, além de ter seu material (palito de picolé) proveniente da empresa Sorvepan, de Anápolis, suas dimensões delimitadas em 800x200x15mm 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). Sendo que, para o primeiro ensaio, não destrutivo, anterior à competição, a carga necessária é $\frac{1}{4}$ da carga de projeto, em outras palavras a treliça precisa suportar um quarto da carga calculada previamente para atingir algum Estado Limite - estado limite último ou de utilização/serviço. (Marra, 2016)



Para ser possível sua construção, primeiramente foi testada a madeira disponível, 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

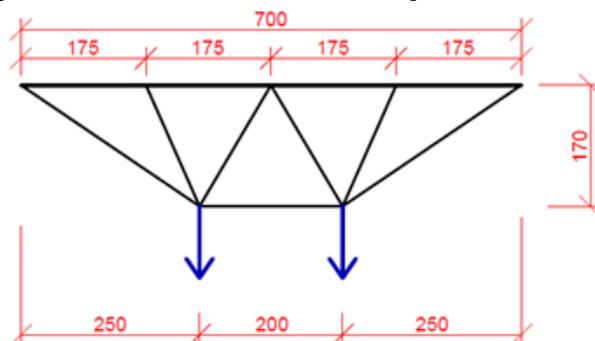
Treliça é toda estrutura constituída por elementos lineares delgados em barras retas, duplamente rotulados em suas extremidades por nós, e carregados com forças externas nos nós, de forma a se obter, como consequência, apenas esforços normais, isto é, de compressão e tração. (SORIANO, 2010)

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. Outro método utilizado foi o método dos esforços para o cálculo da treliça hiperestática. (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, 186 mm as segundas diagonais (contando da extremidade para o meio da treliça) e 197 mm as diagonais internas do meio. A altura da treliça, entre os banzos, é de 170 mm. São usados 4 palitos, colados justapostos, de forma a se



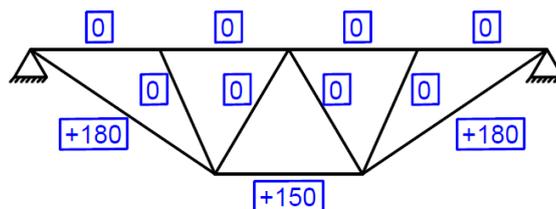
ter pelo menos 4 palitos em cada seção de corte. Esses 4 palitos totalizam 8 mm de espessura, aproximadamente, sem contabilizar a espessura da cola e parafusos. A largura de cada barra é a largura do próprio palito que é aproximadamente 8 mm. Dessa forma, foi obedecido o parâmetro do edital que estabelece 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 Concepção da estrutura e ensaios de resistência do material

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 conseqüentemente a possibilidade de ruptura.

Desse modo, encontrou-se um modelo em que não houvesse compressão nas barras, de acordo com o Ftool, quando os apoios da extremidade da treliça forem do 2º gênero – impedem movimento vertical e horizontal, como pode ser observado na imagem abaixo. Então, na construção da treliça, foi pensado um tipo de apoio que mais se aproximasse do segundo gênero, e, assim, tornasse possível a condição ideal do resultado obtido nesses cálculos.

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



Na figura acima percebe-se que a treliça biapoiada de 2º gênero, possui esforços de tração no banzo inferior, de 150 kgf a 180 kgf, e esforços nulos nas outras barras. Assim obteve-se uma treliça hiperestática, porém se a treliça fosse isostática, com um apoio de 1º gênero –que restringe as forças na horizontal ou na vertical, e outro apoio do 2º gênero, os esforços de compressão no banzo superior da treliça iriam ser significativos. Assim, para garantir um comprimento de flambagem pequeno no caso de não se obter apoios de 2º gênero e sim uma treliça isostática, foram colocadas barras internas adicionais, para prevenir esta situação.

Para encontrar a resistência da madeira do palito de picolé, e deste com a cola e as ligações nas barras, foram feitos ensaios de compressão, tração e tração por flexão no laboratório, consultoria e construção limitada CARLOS CAMPOS em Goiânia-GO, para se ter parâmetros de cálculo.



As barras feitas com 6 palitos colados, apresentaram as resistências à compressão, à tração indireta pela flexão e a tração a flexão à cola em megapascal (MPa) de acordo com a tabela abaixo. A resistência a tração na flexão foi calculada seguindo a equação abaixo (CARVALHO,2014) que relaciona o momento fletor de uma viga biapoiada dividido pelo módulo de elasticidade (W), o comprimento “l” das vigas de palito de madeira testadas foram de 56 cm.

$$\sigma = \frac{\text{Momento}_\text{fletor}_\text{último}}{\text{Módulo}_\text{de}_\text{elasticidade}} = (Q \cdot l^2 / 8) / (bh^2 / 6) \quad (1)$$

As outras resistências foram calculadas seguindo a equação abaixo (CARVALHO,2014):

$$\sigma = \text{Carga de ruptura} / \text{Área da seção} = Q/A \quad (2)$$

Tabela 1 – Resistências nos palitos e ligações. Fonte: própria

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS PALITOS DE PICOLÉ							
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO							
6 Palitos	Carga de ruptura (kgf)	B (mm)	H (mm)	Área (mm²)	Resistência em MPa (σ)	Média das resistências (MPa)	
A	319	8,7	12,7	110,49	28,87	25,32	
B	244	8,7	12,7	110,49	22,08		
C	244	8,7	12,7	110,49	22,08		
D	203	8,7	12,7	110,49	18,37		
E	389	8,7	12,7	110,49	35,21		
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO							
6 Palitos	Carga de ruptura (kgf)	B (mm)	H (mm)	L(m) comprimento	Mf (kN.m)	Resistência em MPa (σ)	Média das resistências (MPa)
A	69	8,7	12,7	0,56	27,05	115,65	138,45
B	88	8,7	12,7	0,56	34,50	147,50	
C	83	8,7	12,7	0,56	32,54	139,12	
D	83	8,7	12,7	0,56	32,54	139,12	
E	90	8,7	12,7	0,56	35,28	150,85	
RESISTÊNCIA DA COLA - Ruptura na colagem dos palitos							
6 Palitos	Carga de ruptura (kgf)	H (mm)	B (mm)	L(m) comprimento	Mf (kN.m)	Resistência em MPa (σ)	Média das resistências (MPa)
A	81	8,7	12,7	0,56	31,75	135,77	131,30
B	98	8,7	12,7	0,56	38,42	164,26	
C	56	8,7	12,7	0,56	21,95	93,86	
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA CHAPA DE ZINCO							
CHAPA	Carga de ruptura (kgf)	H (mm)	B (mm)	Área (mm²)	Resistência em MPa (σ)		
ZINCO	136	6,15	0,4	2,46	552,85		
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NOS PARAFUSOS							
MATERIAL	Carga de ruptura (kgf)	D (mm)	Área (mm²)	Resistência em MPa (σ)			
PARAFUSO	119	3	7,07	168,35			

A tabela 1 leva às seguintes conclusões:

- A resistência a tração da madeira é cerca de 5 vezes a resistência à compressão;
- A compressão é o fator de fraqueza da estrutura;
- As ligações entres as barras que permitiram a articulação serão em chapas de zinco e parafusos de 3 mm de diâmetro, e suas resistências são muito superiores



que a resistência da madeira, o que se pressupõe que a treliça não romperá na ligação;

- A resistência da cola é superior do que a resistência à compressão o que em barras comprimidas leva a uma ruptura na madeira e não na colagem;
- Em barras tracionadas ocorre o inverso, ruptura na colagem e não na madeira.

2.3 Cálculos

O regulamento da competição previa dois ensaios práticos nas treliças projetadas, o primeiro seria não destrutivo, para está primeira treliça foi projetado uma carga de suporte total de 80 quilogramas. A segunda treliça, calculada para o dia da Competição, portanto ensaio destrutivo, por sua vez foi projetada para suportar 180 kg. Para dimensionamento das barras, foram considerados dois critérios:

1. Todas as barras serão de mesma seção, assim o dimensionamento se dará pela barra mais solicitada.
2. Foi adotado um fator de segurança igual a 5. Devido a impossibilidade de uma amostragem maior de treliças para teste, levando a um cálculo mais exato para o fator de segurança.

Figura 3 – Modelo de cálculo da treliça, cotas em mm e esforços axiais em kgf do ensaio não-destrutivo. Fonte: própria

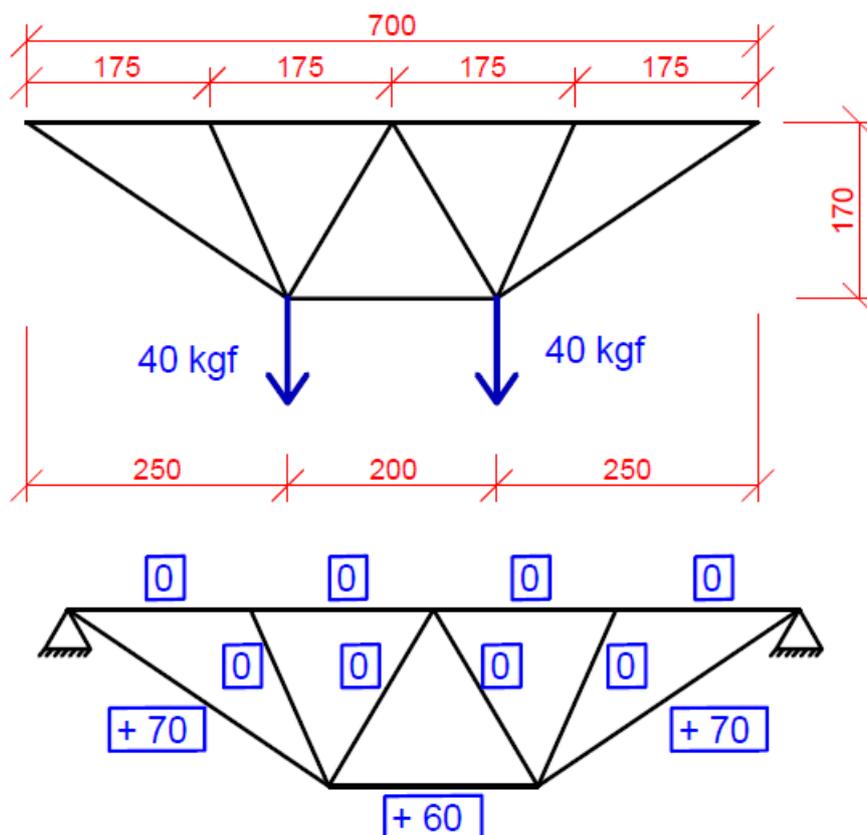


Tabela 2 – Dimensionamento das barras da treliça. Fonte: própria



DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DA TRELIÇA							
ENSAIO NÃO DESTRUTIVO							
Barra	Esforço Axial (kgf)	Resistência (N/mm ²)	Base da seção (mm)	Numero de palitos colados	Espessura de 1 palito (mm)	Altura final da barra	Solicitação na barra (N/mm ²)
1	70	131,30	8	4	2	8	10,94
2	60	131,30	8	4	2	8	9,38
3	70	131,30	8	4	2	8	10,94

Segundo a norma ABNT: NBR 8682/2003 de ações e segurança nas estruturas:
 A solicitação de cálculo nas barras deve ser menor ou igual a resistência de cálculo.

$$S_d \leq R_d, \text{ e } S_d = \text{Esforço axial} / (\text{base} \times \text{altura})$$

$$S_d (\text{máximo}) = R_d / F.S \quad (3)$$

$$S_d (\text{máximo}) = 131,3 / 5 = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

S_d: solicitação de cálculo

R_d: resistência de cálculo

F.S: Fator de segurança igual a 5.

Figura 4 – Modelo de cálculo da treliça, cotas em mm e esforços axiais em kgf do ensaio destrutivo. Fonte: própria

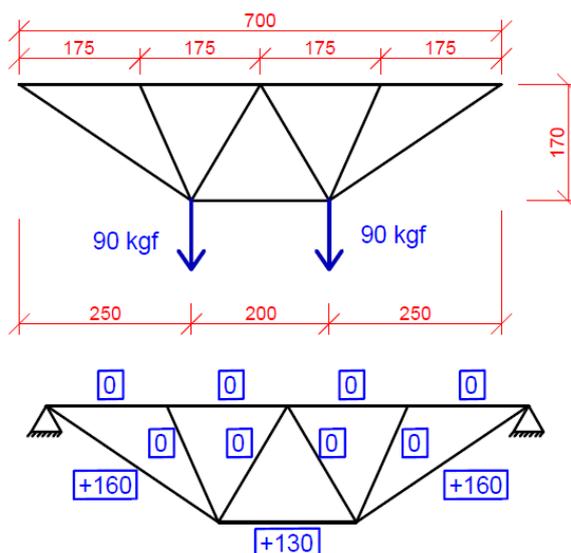


Tabela 3 – Dimensionamento. Fonte: própria

DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DA TRELIÇA							
ENSAIO DESTRUTIVO							
Barra	Esforço Axial (kgf)	Resistência (N/mm ²)	Base da seção (mm)	Numero de palitos colados	Espessura de 1 palito (mm)	Altura final da barra	Solicitação na barra (N/mm ²)
1	160	131,30	8	4	2	8	25
2	130	131,30	8	4	2	8	20,3125
3	160	131,30	8	4	2	8	25

$$S_d (\text{máximo}) = 131,3 / 5 = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

2.4 Montagem da estrutura



Para a montagem da estrutura, primeiramente buscou-se utilizar todos os EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) necessários, como luvas e óculos protetores, além dos materiais usados na treliça, relacionados abaixo.

Materiais utilizados:

2.4.1. Para a treliça:

- Palitos de picolé de ponta reta, obtidos na empresa Sorvepan, em Anápolis;
- Cola para madeira, Cascola Cascorez adesivo PVA, não tóxica;
- Chapa de zinco de 0,4 mm de espessura;
- Parafusos de 3 mm com porcas e arruelas;

2.4.2. Para os apoios:

- Aparato metálico de 3x1,5 cm;
- Fita adesiva marrom;

2.4.3. 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 (ensaio não destrutivo);
- Anilhas de peso com 2,25 gramas, aproximadamente (ensaio não destrutivo).

Nas extremidades dos palitos de picolé foram enroladas chapas de zinco, de aproximadamente 10 mm, a fim de conferir maior resistência e evitar o rasgamento da madeira no momento que fosse perfurado o local para a colocação do parafuso.

Esses palitos foram colados de forma a se ter sempre 3 palitos na seção transversal aumentando, assim, a resistência. Foram desenhadas as ligações das barras, que posteriormente foram cortadas na chapa de zinco, com 2 mm de comprimento para cada lado da barra, quando em direções diferentes e 1 mm, quando na mesma direção, para obedecer ao estabelecido em edital.

Após isso foram perfuradas essas chapas e as extremidades dos palitos de picolé com furadeira, e devidos cuidados, para se colocar os parafusos, arruelas e porcas, apertados com alicates. Por fim, foram feitos os apoios, que para o ensaio não destrutivo consistiu em pregar os cubos metálicos nas posições indicadas em projeto. Os palitos danificados foram separados e rejeitados.

Figura 5: Estrutura da treliça com os aparatos e apoios. Fonte: própria.





Figura 6: Separação dos palitos – danificados e pesos diferentes. Fonte: própria.



Figura 7: Detalhe das chapas de zinco nas extremidades das barras. Fonte: própria.



Figura 8: Estrutura da treliça pronta e desenho e corte das ligações das barras na chapa de zinco. Fonte: própria.



2.5 Análise de resultados

A treliça vencedora teria que obter o maior CED (Coeficiente de Eficiência Definitivo). 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.

Ele é calculado através da equação abaixo (MARRA,2016):

$$CED = \frac{P_{\text{obtido de ensaio}}}{(P_{\text{treliça}} + P_{\text{aparato}} + P_{\text{apoio}})} \geq 100 \quad (3)$$

Onde:

Organização

Promoção



$P_{\text{obtido_ensaio}}$ = carga máxima suportada pela treliça

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

Papoio = peso do sistema de apoio

Paparatos = peso dos cabos de aplicação das cargas

O resultado final no ensaio não destrutivo foi que a estrutura resistiu ao esforço inicial de 80 kgf e logo foram retirados os pesos sem que ocorra ruptura, já no ensaio destrutivo a treliçada sustentou 130 kgf e rompeu de forma surpreendente no apoio, o que nos leva a conclusão de que os apoios deveriam ter sido melhor verificados para o carregamento, pois a estrutura em si, resistia a maiores cargas. O peso da treliça foi de 200 gramas, o peso dos aparatos e apoios foi de 122 gramas. Assim o coeficiente CED foi de:

$$CED = 130 / (0,200 + 0,122) = 404$$

A treliça suportou um carregamento de 404 vezes maior que seu peso próprio e foi a campeã da competição.

Figura 9: Estrutura do pórtico aonde as treliças foram colocadas. 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 e estática das estruturas. A treliça em questão foi a vencedora da competição, pois seguiu as seguintes diretrizes:

- O peso da estrutura foi o menor possível;
- O acúmulo de conhecimentos da resistência da madeira dos palitos de picolé com a cola aplicados a montagem;

Organização



Promoção





- A escolha de uma estrutura hiperestática, formada por apoios de 2º gênero, permitindo assim somente esforços de tração, porém caso o apoio não fosse perfeitamente de 2º gênero, foi previsto duas diagonais internas que restringiriam o comprimento de flambagem do banzo superior, diminuindo o risco de ruptura por flambagem.

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.

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

POPSICLE STICKS TRUSS

Abstract: *This study was proposed to scholars of Wood 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 wooden trusses using popsicle sticks, 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 the latticework).

Thus, for the implementation of trellis testing with the popsicle sticks were performed, to have knowledge of the resistance of the wood and thus choose the best option geometry of the structure, and consequently to obtain the best result.

Keywords: *Wood structures, Truss, Competition*