

APLICAÇÃO DE MODELO DE TRELIÇAS PLANAS UTILIZANDO PALITOS DE PICOLÉ PARA ANÁLISE COMPORTAMENTAL DE ESTRUTURAS TRELIÇADAS.

Luiz Augusto Hegouet Carvalho. e-mail: luiz.hegouet@gmail.com

União Metropolitana de Educação e Cultura- UNIME

Av. Luis Tarquínio Pontes, 600.

42702-420 – Lauro de Freitas– Bahia

Alisson Mendes Sousa. e-mail: alissonmj@gmail.com

União Metropolitana de Educação e Cultura- UNIME

Av. Luis Tarquínio Pontes, 600.

42702-420 – Lauro de Freitas– Bahia

Gabriel Lima Carneiro . e-mail: glimac01@hotmail.com

União Metropolitana de Educação e Cultura- UNIME

Av. Luis Tarquínio Pontes, 600.

42702-420 – Lauro de Freitas– Bahia

Resumo: *A falta de articulação entre a prática e a teoria se constitui um desafio na formação de qualquer área de conhecimento. Para os estudantes de engenharia esse distanciamento é verificado na sua trajetória acadêmica quando se trata de conteúdos que exigem um elevado nível de abstração. Na procura de mudança no processo ensino-aprendizagem que garanta maior oportunidade para o desenvolvimento de habilidades necessárias ao exercício de atividades de engenharia, as escolas de ensino superior buscam modelos qualitativos que tornem o ensino intuitivo, de forma que o aluno adquira competências e habilidades para: aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia; projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos; identificar, formular e resolver problemas de engenharia; desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas; atuar em equipes multidisciplinares. Um dos modelos aplicados é o da “Competição de Pontes de Palito de Picolé”, onde os discentes têm como objetivo projetar uma estrutura treliçada reduzida, que resista a determinadas cargas, com a total liberdade para escolher o tipo de treliça plana e as dimensões da ponte, analisar os esforços de todos os elementos da estrutura através de software de engenharia estrutural para análise de elementos finitos. Concretizando como uma atividade participativa, na qual o aprendizado só se consolida se o estudante desempenhar um papel ativo de construir o seu próprio conhecimento e experiência, com orientação e participação do professor.*

Palavras-chave: *Treliça Plana. Ponte de Palito de Picolé. Comportamento. Estrutura.*

OBJETIVO

Este trabalho possui uma obliquidade educativo e elucidativo a respeito da importância da exploração dos modelos qualitativos em uma análise estrutural. Afim de desenvolver nos estudantes as habilidades iniciais para a compreensão básica do comportamento das estruturas quando submetidas a um carregamento. Despertar interesse pelos conteúdos trabalhados ao longo do curso, alinhando a teoria à prática, de forma a trabalhar os conceitos básicos das aplicações das leis de Newton, resistência dos materiais e ciências dos materiais. Aumentar a importância da concepção do projeto arquitetônico de maneira mais real e aprimorar o uso de ferramentas computacionais de engenharia estrutural para análise de elementos finitos.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Kaminski (2007), embora embasada nas ciências exatas, o processo estrutural da engenharia encontra-se lotada de incertezas de variadas origens desde incógnitas matemáticas até erros humanos. Para a análise dos projetos de estruturas, faz-se necessário à avaliação de tais variáveis ou incertezas presentes nos mesmos. Uma das metodologias adotadas para suprir tais informações é o uso de modelos em escala reduzida, para tornar possível o estudo do comportamento da estrutura real com base na ruptura, tração, compressão, torção etc. e, por fim, aperfeiçoar o projeto com base nos resultados obtidos.

Visando apresentar de forma didática tais métodos de análise de comportamento estrutural, a utilização da “Competição de Pontes de Palitos de Picolé” torna-se uma alternativa altamente viável, vez que incentiva o aprendizado, como também, a competição entre os discentes; bem como comentado por Silva (2013), os custos de ensaios realizados laboratorialmente são muito elevados, devido aos valores dos materiais utilizados para a realização de tais testes; dificultando assim o acesso a esses ensaios. Sendo assim, alternativas como as Pontes de Palitos de Picolé, se apresentam de forma interessante, tendo em vista o baixo custo dos materiais.

A aplicação de materiais não convencionais como elementos para estudos é uma importante ferramenta, pois, como os elementos estruturais reais, os palitos de picolé, encontram-se imperfeitos com curvas, deformações e trincas, bem como podem se apresentar de forma frágil ou quebrados. Após observações é possível observar a irregularidade dos palitos, se fazendo necessária uma seleção dos melhores exemplares. Tal processo se assemelha em diversos aspectos com a realidade, onde os profissionais saem em busca de materiais com maior confiabilidade para uso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Abordagem histórica

O sistema de treliças é um dos mais antigos e mais importantes métodos utilizados na construção civil. Tal sistema fora empregado durante muito tempo para vencer grandes vãos e são geralmente utilizadas em coberturas, pontes, guindastes, torres, etc.

Mesmo sendo utilizadas desde a antiguidade pelos romanos, apenas após o início da revolução industrial com a facilitação ao acesso ao ferro forjado é que o sistema passou a ter maior enfoque em pesquisas para avanços na sua aplicação. A partir desse período os engenheiros viram-se obrigados a desenvolver estruturas mais viáveis para as construções de pontes e ferrovias que necessitavam vencer vãos cada vez maiores. Nesse período buscando materiais com melhor trabalhabilidade e peso próprio reduzido, no início do século XIX surge o conhecido ferro laminado, embora tendo custo mais elevado, possibilitava para os responsáveis um aumento considerável na trabalhabilidade das estruturas, possibilitando novas formas como as estruturas arqueadas. Após esse período, em meados da década de 70 desse século o uso do aço veio a substituir o uso do ferro fundido e o laminado, principalmente devido à sua maior ductilidade e resistência.

2.2 Definições - Treliça

Denotam-se como treliças estruturas triangulares constituídas por elementos rígidos (barras/hastes) ligados entre si por suas extremidades rotuladas (articulação/nó), gerando assim um sistema estável.

Desta maneira, para um bom desempenho os carregamentos em um sistema treliçado dá-se em seus nós, evitando dessa forma uma transferência de momento fletor para seus demais elementos. Dessa forma um sistema treliçado encontra-se sujeito aos esforços axiais, de tração ou compressão.

A disposição das barras na treliça a torna um sistema altamente eficiente, tornando-a capaz de suportar grandes cargas, quando comparada ao seu peso próprio. Em estruturas reais as treliças apresentam-se unidas entre si formando estruturas espaciais. Dessa forma cada treliça se comporta suportando os esforços presentes em seu próprio plano.

Uma treliça é composta pelo banzo superior, banzo inferior e seus montantes verticais e diagonais. Apresentam-se de diversas formas, sendo cada uma delas nomeadas particularmente de acordo com suas configurações geométricas.

Dentre elas podem-se destacar como as mais comuns em execução de pontes treliçadas os tipos Warren, comumente utilizada para vencer pequenos vãos uma vez que dispensa o uso de montantes verticais para a amarração estrutural, Pratt, configura-se como seus montantes diagonais inclinados em direção ao centro do vão, fazendo com que todas as hastes diagonais com exceção as centrais sofram apenas esforços trativos enquanto as verticais encontram-se sujeitas a compressão, e a treliça Howe configurada de forma oposta a Pratt.

2.3 Sobre a competição

A competição denominada “Projeto Treliça” ocorre na Faculdade UNIME (polo Lauro de Freitas) e serve de forma de avaliação. O objetivo é desenvolver um projeto de estrutura treliçada com o intuito de estimular os alunos que ingressam no curso de engenharia, mostrando de forma simples como são feitos os cálculos na construção de estruturas, através de apresentações e de softwares que auxiliam na compreensão do assunto por meio de modelagens matemáticas. Proporcionando uma maior visibilidade aos cursos da área para um público alvo ingressante no ensino universitário, além de promover a interdisciplinaridade, através da exemplificação de conceitos físicos como a aplicação das condições de equilíbrio em vários níveis de dificuldade, ampliando e modificando o processo de ensino-aprendizagem.

Os discentes se agrupam em equipes e, seguindo o edital divulgado, elaboram suas estruturas. As pontes se configuram com um vão de 1 metro, altura máxima de 30 centímetros e deveria suportar uma carga 70 vezes sua massa para a obtenção da nota máxima. Apresenta-se também um limite de palitos de picolé colados (4 camadas sobrepostas) e podendo utilizar apenas palitos de picolé de madeira e cola.

Dessa forma a competição fomenta ao estudante a necessidade pesquisar a fundo sobre treliças, para que a estrutura escolhida seja a mais leve e eficiente possível, além de fomentar o trabalho em grupo e apurar sua tomada de decisão.

O evento é realizado no palco da faculdade, aberto a todos os estudantes. Cada equipe se dirige ao local e apoia a ponte em uma estrutura de ferro feita especialmente para esse tipo de competição. Os próprios participantes possuem a liberdade de alocar as cargas na parte superior da estrutura, que vai sendo julgada por uma banca composta por 3 professores.

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Materiais utilizados

Como constava nas regras da competição, os únicos materiais que poderiam ser utilizados eram palitos de picolé e cola. Para essa treliça foram usados palitos com dimensão de 2x10x100mm e cola para madeira (Cascola Cascorez adesivo PVA, não tóxica).

3.2 Metodologia empregada

Inicialmente para definição do modelo a ser adotado, foram feitas análises das formas de distribuições dos esforços nas barras de diversos modelos de treliças de pontes de palitos de picolé com banzo superior curvo. Cada um dos modelos bidimensionais foram analisados através de softwares.

Ao analisar os tipos de treliça, optou-se pela utilização da Pratt com banzo superior curvo, devido a sua simetria que possibilita uma melhor distribuição das cargas e melhor execução, e a distribuição dos esforços internos que foram apresentados utilizando o software Ftool, para efeito de cálculo considerou-se que a carga de 70 kg, ou 0,7 KN, se divide de forma uniforme entre as duas estruturas treliças que compõem a ponte. Além disso, admitiu-se que a estrutura terá um apoio fixo e um móvel para o cálculo das reações de apoio e dos esforços normais em cada barra.

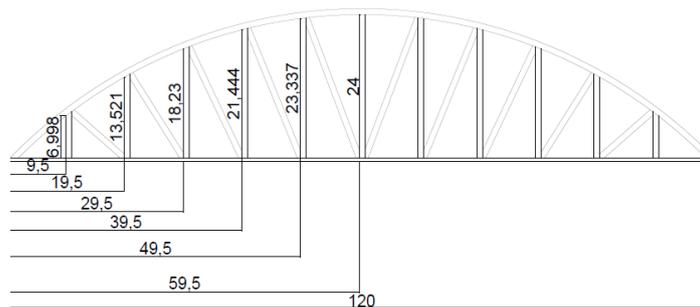
Após minuciosa seleção dos palitos a serem usados (Figura 1), com a utilização do software AutoCAD foi possível elaborar um gabarito para a construção do protótipo (Figura 2 e 3).

Figura 1- Seleção dos palitos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2- Gabarito elaborado utilizando o AutoCAD



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3- Montagem sobre o gabarito



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a construção das duas treliças planas prontas, realizou-se o contraventamento isto é, o travamento delas (Figura 4 e 5) proporcionando um maior reforço, proteção e estabilidade à estrutura. Posteriormente, construiu-se o tabuleiro, pavimento que suporta as cargas de circulação e as transmite aos apoios laterais.

Figura 4- Peça utilizada para junção.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5- Processo de junção das treliças.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Para conhecer as principais características mecânicas do material consultou-se a norma NBR 7190-97, referente a projetos de Estrutura de madeira e verificou-se que para a madeira Pinus Elliotii utilizada para a fabricação dos palitos, a resistência à tração longitudinal (F_{to}) equivale a 60 MPa e resistência à compressão longitudinal (F_{co}) corresponde a 40 MPa e o seu módulo de elasticidade é de 12000 MPa. Admite-se para a madeira Pinus Elliottii, comumente utilizada para produção dos palitos de picolé, uma tensão de ruptura de 22,2 MPa.

Para obtenção dos valores dos esforços internos gerados na estrutura utilizam-se as equações:

$$\sigma = \frac{Fn}{A} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2)$$

Onde:

σ = Tensão Normal

Fn = Força Normal

A = Área

τ = Tensão de Cisalhamento

V = Força Cortante

A = Área

Para obtenção dos valores das reações presentes nos apoios utilizou-se as seguintes equações:

$$\Sigma Fy = 0 \quad (3)$$

$$\Sigma Fx = 0 \quad (4)$$

$$\Sigma FM = 0 \quad (5)$$

Utilizando os dados mencionados acima e aplicando os mesmos nas equações (3), (4) e (5) foi possível obter os resultados abaixo.

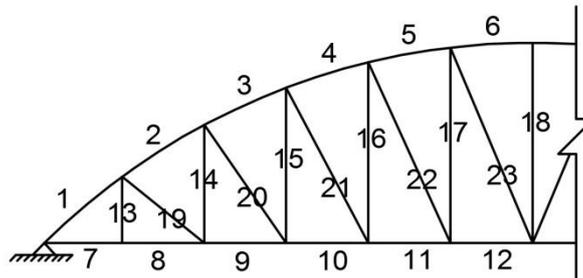
$$R_{Ay} = 0,35 \text{ KN}$$

$$R_B = 0,35 \text{ KN}$$

De forma análoga, aplicando os dados na equação (1), obteve-se uma tensão normal igual a 1,17 KPa. Do mesmo modo utilizando as informações na equação (2), foi possível obter uma tensão de cisalhamento igual a 0,016 KPa.

Foram observados ainda os seguintes resultados nas hastes:

Figura 6- Parte simétrica da treliça.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1- Valores dos esforços nas hastes.

HASTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ESFORÇO NORMAL	T	C	C	C	C	C	T	T	T	T	T	T	T	C	C	C	C	C	T	T	T	T	T
FORÇA(KN)	0.61	0.62	0.64	0.69	0.76	0.88	0.50	0.50	0.52	0.52	0.58	0.65	0.75	0.01	0.08	0.14	0.20						

T= Tração C= Compressão

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao observar o desempenho da treliça no momento em que era submetida a esforços no teste de campo, foi possível identificar falhas construtivas em regiões de maiores esforços, o que só ajuda a evidenciar a importância de se realizar simulações com protótipos a fim de identificar possíveis imperfeições – ou locais mais sucessíveis a tal – e aperfeiçoar o projeto em cima do estudo realizado. No teste realizado, a treliça suportou um peso máximo de 110 kg. O resultado atingido em campo foi condizente com o que foi calculado utilizando os dados expostos acima.

Além dos resultados numéricos, vale salientar os resultados intelectuais obtidos em um trabalho expositivo desse tipo, em que se restringem os materiais utilizados. A priori, a maior dificuldade está em buscar métodos eficazes de colagem dos palitos, principalmente em hastes que sofrem tração, afinal, não será possível usar nenhum tipo de presilha, parafuso, prego ou qualquer objeto que auxilie na fixação das hastes junto aos nós. Essa restrição de material impossibilita que o estudante opte por métodos mais óbvios e seja forçado a estudar sistemas alternativos tão eficazes quanto com o uso de outros materiais anteriormente citados. Essas regras acabam por despertar o poder de tomada de decisão de um futuro engenheiro, simulando situações que muitas vezes acontecem na elaboração de um projeto ou no canteiro de obras.

5 CONCLUSÃO

Foram demonstrados os resultados obtidos através dos ensaios realizados sobre o modelo treliçado reduzido construído com palitos de picolé, com o comportamento previamente calculado, rigidez nas hastes comprimidas e tracionadas, bem como seu limite de ruptura. Após realizar todas as etapas elencadas no tópico de metodologias, o aluno agrega o conhecimento necessário para prever o comportamento de determinada estrutura antes mesmo de calculá-la. Verifica que esse aprendizado terá que ser constante durante o curso para que o aluno coleciona experiências. Não se pode dar prioridade à teoria ou à prática, mas sim, fazer com que ambas se tornem mútuas e constituam uma soma, produzida em um contexto, para que, então, todo o potencial de ensino-aprendizagem seja alcançado. É importante que mudanças do processo de ensino-aprendizagem garanta maior oportunidade para o desenvolvimento de habilidades necessárias ao melhor exercício de atividades na Engenharia.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7190: Projeto de Estrutura de Madeira**, Rio de Janeiro, 1997.

HIBBELER, R. C. **Estática: Mecânica para Engenharia**. Editora Pearson. 12 ed. São Paulo – 2011, p.196

KAMINSKI ,Junior, **Incertezas de Modelo na Análise de Torres Metálicas Treliçadas de Linhas de Transmissão**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul –Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2007.

KOSTESKI, L.E. **Aplicação do Método dos Elementos Discretos formado por barras no estudo do colapso de estruturas**. [Tese] - Porto Alegre: Curso do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

LEGGERINI, Maria R.; Kalil, Sílvia B. (2008). **Estruturas Isostáticas. Sebenta de Estruturas**. Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul.

SILVA, Luís Miguel Freitas da. **Criação e Implementação de um Laboratório Pedagógico de Estruturas na Universidade do Minho**. [Dissertação]. Minho – Portugal: Escola de Engenharia, 2013.

APPLICATION OF FLAT PATTERNS USING POPSICLE STICK FOR BEHAVIORAL ANALYSIS OF STRETCHED STRUCTURES.

Abstract: *The lack of articulation between practice and theory is a challenge of formation at any area of knowledge. For students of engineering this gap is verified in their academic trajectory when this contents require a high level of abstraction. Looking for changes on teaching and learning process that guarantees greater opportunity to develop necessary skills for the exercise of engineering activities, higher education institutions are looking for qualitative models that make teaching intuitive, so that students acquire skills and abilities to: apply mathematical, scientific, technological and instrumental knowledge to engineering; designing and conducting experiments and interpreting results; designing, designing and analyzing systems, products and processes; identify, formulate and solve engineering problems; develop and / or use new tools and techniques; work in multidisciplinary teams. One of the models applied is the "Popsicle Stick Bridge Competition", ", when the students have the goal to project a reduced truss structure, which need to resist certain loads, they have freedom to choose the type of truss and the dimensions of the bridge, analyze the efforts of all structural elements through structural engineering software for finite element analysis. It is a participative activity, in which learning only consolidates if the student plays an active role of building his own knowledge and experience, with the guidance and participation of the teacher.*

Key-words: *Flat Trellis. Bridge of Popsicle stick. Behavior. Structure.*