

DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROTÓTIPO DE TRELIÇA PLANA EM PALITOS DE PICOLÉ PARA INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS DA ANÁLISE ESTRUTURAL

Luiz Augusto Hegouet Carvalho – E-mail: luiz.hegouet@unifacs.br
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua dos Vereadores, Condomínio Vivendas do Atlântico, nº 04 - Centro
CEP: 42702-230 – Lauro de Freitas - Bahia

Andrei Luís Andraus Barros Santos – E-mail: andrei.andraus@gmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua Simões Filho, nº 116 – Boca do Rio
CEP: 41705-010 – Salvador - Bahia

Daniel Rodrigues da Silva – E-mail: daan.silva@hotmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua Teódulo de Albuquerque, bloco 82, apt. 101 – Cabula VI
CEP: 41181-010 – Salvador – Bahia

Fabrcio Matos Santos – E-mail: fatqn.fm@gmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua General Labatut, nº 18/22, apt. 101 - Barris
CEP: 40070-100 – Salvador – Bahia

Jamille Braga Falcão Carneiro – E-mail: carneirojamille@gmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua da Graça, nº 227 - Graça
CEP: 48905-367 – Salvador – Bahia

Madson Mendes Santos – E-mail: madson_igrap-mms@hotmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua Nadir Mendonça, nº 52 - Pituaçu
CEP: 41740-150 – Salvador – Bahia

Pedro Silas Pereira – E-mail: pedrossp97@hotmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua General Labatut, nº 260 - Barris
CEP: 40070-100 – Salvador – Bahia

Silvano Simões Carvalho de Pinho – E-mail: silvano.engcivil@gmail.com
Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação – EAETI – Unifacs
Rua Artur de Sá Menezes, nº 71, apt. 202 - Pituba
CEP: 41810-480 – Salvador – Bahia

Resumo: Este artigo apresenta um relato da prática do Projeto Acadêmico Interdisciplinar – Projeto Estrutura, aplicado as turmas da disciplina Mecânica dos Sólidos na EAETI da Unifacs, universidade privada localizada na cidade do Salvador – BA. Uma atividade interdisciplinar com o objetivo de fazer o discente aplicar conhecimentos e competências relativas ao comportamento estático mecânico da estrutura, alicerçados em conhecimentos procedentes de disciplinas como Física Mecânica, Mecânica dos Sólidos, Desenho Técnico, Ciência dos Materiais, Introdução ao Trabalho Científico, Algoritmo e Metrologia. A proposta consiste na modelagem de treliças planas formando uma ponte treliçada com palitos de picolé ou PLA (poliácido láctico), afim de analisar os esforços trativos, compressivos e as deformações normais em cada elemento estrutural da ponte, com o escopo de avaliar a eficiência de cada protótipo e aspectos relevantes, tais como a estabilidade e capacidade de cada estrutura em relação a carga de teste.

Palavras-chave: Análise Estrutural. Engenharia Estrutural. Mecânica das Estruturas.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo refere-se a um projeto desenvolvido pelos alunos da EAETI da Unifacs, Salvador- BA, conhecido como Projeto Estrutura. Uma atividade interdisciplinar com o objetivo de fazer o discente aplicar conhecimentos e competências relativas ao comportamento estático mecânico da estrutura, alicerçados em conhecimentos procedentes de disciplinas como Física Mecânica, Mecânica dos Sólidos, Desenho Técnico, Ciência dos Materiais, Introdução ao Trabalho Científico, Algoritmo e Metrologia. A proposta consiste na modelagem de treliças planas formando uma ponte treliçada com palitos de picolé ou PLA (poliácido láctico), a fim de analisar os esforços trativos, compressivos e as deformações normais em cada elemento estrutural da ponte, com o escopo de avaliar a eficiência de cada protótipo e aspectos relevantes, tais como a estabilidade e capacidade de cada estrutura em relação a carga de teste.

A modelagem de estruturas nos dias atuais tem sido uma ferramenta valiosa para que os estudantes de engenharia consigam visualizar determinados comportamentos dos elementos estruturais de forma simplificada em modelos reduzidos, aumentando o interesse e a dedicação dos estudantes pela análise estrutural. Segundo Nóbrega (NÓBREGA, 2004) as estruturas civis vêm sendo caracterizadas pelo aumento da sensibilidade às vibrações, e como facilitadores destes paradigmas pode-se ressaltar: o desenvolvimento tecnológico dos materiais de construção; a adoção de técnicas e de sistemas inovadores em tempo e forma de execução; a mudança na intensidade e na forma de atuação de alguns carregamentos; a prática de novos projetos arquitetônicos; uso de recursos computacionais que possibilitam análises mais complexas e refinadas. No intuito de apresentar esses aspectos comportamentais das estruturas, de forma didática, fugindo de uma complexidade e valendo de teorias desenvolvidas através de resistência dos materiais, ciências dos materiais e métodos numéricos, o projeto torna possível ao aluno, realizar a análise de certas estruturas com experimentos de baixo custo e materiais alternativos que podem ser construídos com utensílios do cotidiano. Configura uma atividade experimental que estabelece uma relação entre a teoria e prática, sem a necessidade de kits de instrumentos a preços elevados, na busca da abstração, organização, discussão e análise, com desígnio de possibilitar ao discente um olhar acurado do comportamento das estruturas.

A parametrização das matrizes dos cursos de Engenharia levou a fragmentação dos conteúdos, valorizando os aspectos quantitativos em detrimento da qualidade no ensino,

formando profissionais carentes de uma boa visão crítica e caráter inovador. Conforme Oliveira (OLIVEIRA, 2011) o conteúdo deve ser transmitido de forma racional, partindo dos assuntos mais simples para os mais complexos, onde na maioria das vezes esse processo não acontece, pois, os professores dedicam exclusivamente dos aspectos quantitativos deixando o conhecimento qualitativo em segundo plano.

Uma das formas de aprimorar os índices quantitativos de aprendizagem no curso de engenharia está na utilização de protótipos estruturais reduzidos, formado por materiais de fácil obtenção, como madeira, plásticos e recicláveis. Em escala reduzida essas estruturas apresentam resultados significativos, permitindo uma apreciação visual traduzida em valores numéricos, contrapondo-se a realidade onde os efeitos são minimizados em virtude das dimensões dos elementos estruturais. De acordo com Consalez (CONSALEZ, 2001) um modelo estrutural é um recurso utilizado como elemento de representação em escala. Suas características lúdicas, quando se trata de uma representação, desperta o interesse do observador. Ao mesmo tempo são objetos de estudo muito úteis quando há a necessidade de tridimensionalidade na representação.

2. PROPOSTA METODOLÓGICA

O Projeto tem início com aula expositiva para definição de treliças planas, sua funcionalidade, os tipos e como os elementos estruturais podem estar conectados entre si. Nesse primeiro momento a exemplificação de modelos inseridos no seu dia-a-dia acentua a abstração e desperta a curiosidade para o conhecimento de diversos modelos não só plano como também espaciais. Para a confecção dos modelos estruturais reduzidos são estabelecidas normas, para que todos possam ser avaliados nas mesmas condições. Conforme o manual do Projeto Estrutura, a estrutura treliçada reduzida deve possuir as dimensões especificadas na “Tabela 1”.

Tabela 1: Dimensões da ponte treliçada (medidas em mm)

Dimensão	Medida
Altura máxima	300,00
Largura	115,00
Vão livre	1000,00
Cabeceira da ponte (apoio)	100,00

Fonte: Elaboração Própria

A escolha do material terá que ser madeira do tipo “pinus” – *Pinus elliottii*; formato palito de picolé, com as dimensões apresentadas na “Tabela 2”, logo abaixo.

Tabela 2: Dimensões do palito de picolé (medidas em mm)

Dimensão	Medida
Largura	8,40 mm
Espessura	2,00 mm
Comprimento	11,50 mm

Fonte: Elaboração Própria

Os palitos são selecionados atendendo as especificações constantes no manual. Em média são utilizados 150 palitos. Desse conjunto, cada grupo de alunos retira uma amostra para testes no laboratório de Ensaios Mecânicos da Unifacs, para a obtenção da sua massa, dimensões, resistência a tração e a compressão, fazendo uso de trenas, paquímetros,

micrômetros, balança de precisão e máquina de ensaio de tração, compressão e flexão, ilustrada na “Figura 1”. Esses ensaios têm acuidade apreciável para fixação dos conteúdos abordados nas disciplinas de metrologia e na obtenção de resultados compatíveis com o estudo teórico de tensões. Após a análise do material, cada grupo de aluno desenvolve o projeto seguindo as etapas mencionadas abaixo.

Figura 1: Ensaio de Compressão



Fonte: Elaboração própria

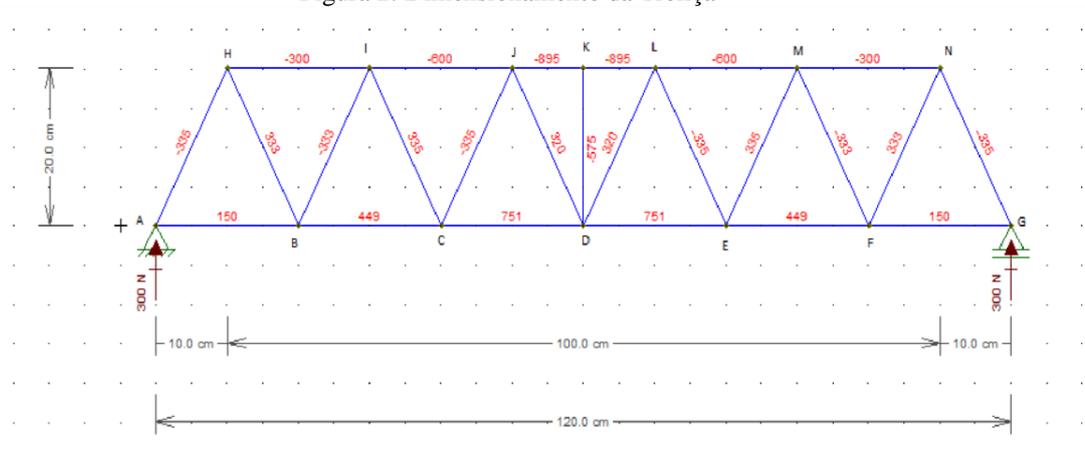
2.1 Pesquisa

As equipes devem realizar pesquisa sobre o tema para construir a fundamentação teórica do projeto a ser desenvolvido. A fundamentação deverá ser apresentada como parte do projeto e deverá atender às normas de apresentação de trabalhos acadêmicos (ABNT).

2.2 Projeto

Relatório escrito do projeto e respectivas memórias de cálculo, fundamentação teórica, desenho técnico da estrutura, carregamento virtual (“Figura 2”) usando software de elementos finitos (como, por exemplo, o Ftool, disponível em: webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool/) determinando quais os esforços normais máximos e mínimos nos elementos da treliça.

Figura 2: Dimensionamento da Treliça



Fonte: Elaboração Própria

2.3 Apresentação oral do projeto

Cada equipe terá 10 minutos para fazer a apresentação oral do seu projeto (“Figura 3”). O grupo deverá fazer uma explanação da estrutura apresentando o desenho técnico da mesma, bem como o memorial de cálculo.

Figura 3 – Apresentação do Projeto



Fonte: Elaboração Própria

2.4 Montagem do protótipo

A montagem do protótipo (“Figura 4”) deve atender a todas as definições adotadas no relatório escrito e deve ser montada nos laboratórios da instituição nos dias estabelecidos. Após a secagem das peças as equipes deverão entregar as estruturas para a realização da prova de carga, acompanhadas das seguintes informações:

- Componentes do grupo: nomes, cursos e períodos;
- Esforços nas barras (considerando a carga de ruptura estimada);
- Dimensões;
- Peso-próprio da estrutura.

Figura 4: Montagem das treliças



Fonte: Elaboração Própria

2.5 Teste de carga

Conforme a “Figura 5”, a carga inicial a ser aplicada será colocada no centro do vão livre, sendo aumentada progressivamente até uma eficiência igual a 70%. Se após 10 segundos da aplicação das cargas a ponte não apresentar danos estruturais, será considerado que a ponte passou no teste de carga mínima, estando habilitada para participar do teste da carga de colapso. Nesta etapa as cargas posteriores serão aplicadas em incrementos definidos pela comissão. Será exigido um mínimo de 10 segundos entre cada aplicação de incremento de carga. Será considerado que a ponte atingiu o colapso se esta apresentar severos danos estruturais, menos de 10 segundos após a aplicação do incremento de carga. A carga de colapso oficial da ponte será a última carga que a ponte foi capaz de suportar durante um período de 10 segundos, sem que ocorressem severos danos estruturais. Ao final do teste de cargas é definido qual das estruturas treliçadas reduzida obteve a maior eficiência, razão do peso da ponte pela da carga de colapso.

Figura 5: Teste de Carga



Fonte: Elaboração Própria

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto Estrutura tem uma proposta de trabalhar com os alunos de engenharia os conteúdos da área de cálculo estrutural de maneira mais lúdica, desenvolvendo a sua

capacidade investigativa e criativa. Primando por uma abordagem qualitativa do ensino, exigindo que o discente experimente as suas habilidades motoras e cognitivas para determinação de resultados que comprovem o seu experimento. Aproximando a teoria da prática, fazendo com que o aluno desperte a paixão pela arte de engenhar.

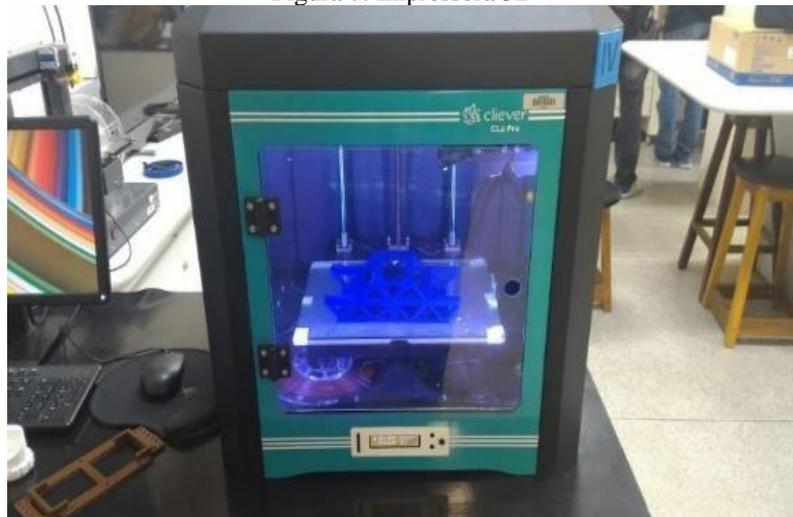
A evolução do projeto segue na construção de protótipos mais bem elaborados, com materiais mais resistentes (“Figura 6”) e o uso de uma tecnologia mais avançada (processo aditivo de prototipagem rápida), com impressão de protótipos de forma simples, automatizada e com boa precisão (“Figura 7”). Resultados iniciais justificam o uso dessa tecnologia para um avanço do projeto e um maior entusiasmo dos alunos na preparação das estruturas reduzidas.

Figura 6: Treliça em PLA com carregamento



Fonte: Elaboração Própria

Figura 7: Impressora 3D



Fonte: Elaboração Própria

REFERÊNCIAS

- CONSALEZ, Lorenzo. **Maquetes: A representação do espaço no projeto arquitetônico**. 1ª edição, Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2001. 111p.
- HIBBELER, Russell. Charles. **Mecânica Estática**. 8ª edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 1999. 477p.
- HIBBELER, Russell. Charles. **Resistência dos materiais**. 5ª edição, São Paulo: Editora Pearson, 2004. 670p.
- KASSIALI, Aslam. **Análise Estrutural**. 5ª edição, São Paulo: Editora Cengage Learning, 2016. 820p.
- MCCORMAC, Jack. **Análise Estrutural: Usando Métodos Clássicos e Métodos Matriciais**. 4ª edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009. 482p.
- PFEIL, Walter. **Estruturas de Madeira**. 4ª edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 1988. 295p.
- BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON, Elwood. Russell. **Mecânica vetorial para engenheiros - Estática**. São Paulo: Editora Makron Books, 2005. 793p.
- GRAY, Gary L; PLESHA, Michael E.; CONSTANZO, Francesco. **Mecânica para Engenharia - Estática**. Porto Alegre: Editora McGraw Hill, 2013. 616p.
- BARROS, F. B. **Método Sem Malha e Método dos Elementos Finitos Generalizados em Análise Não Linear de Estruturas**. 2002. 197 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- NÓBREGA, P. G. B. **Análise dinâmica de estruturas de concreto: estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- OLIVEIRA, Márcio Sequeira de. **Modelo Estrutural Qualitativo para Pré Avaliação do Comportamento de Estruturas Metálicas**. 2008. 172 f. Tese (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- PEREIRA, O. J. B. A. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos na Análise de Problemas Planos de Elasticidade**. 2005. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.
- Ftool. Um Programa Gráfico-Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas Versão 4.00**. Disponível em: <https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool>. Acesso em: 05 abr. 2018.

DEVELOPMENT OF PROJECT AND PROTOTYPE OF FLAT TRUSSES IN POPSICLE STICKS FOR THE INTRODUCTION OF CONCEPTS OF STRUCTURAL ANALYSIS

Abstract: *This article presents an account of the practice of the Interdisciplinary Academic Project - Structure Project, applied the classes of the discipline of Solid Mechanics in EAETI of Unifacs, private university located in the city of Salvador – BA. Na interdisciplinária activity with the objective of making the student apply knowledge and skills related to the static mechanical behavior of the structure, based on knowledge from disciplines such as Mechanical Physics, Solid Mechanics, Technical Design, Materials Science, Introduction to Scientific Work, Algorithm and Metrology. The proposal consists of the modeling of flat trusses forming a lattice bridge with popsicle sticks or PLA (polylactic acid), in order to analyze the tensile, compressive and normal stresses in each structural element of the bridge, with the purpose of evaluating the efficiency of each prototype and relevant aspects such as the stability and capacity of each structure in relation to the test load.*

Keywords: Structural analysis. Structural Engineering. Mechanics of Structures.