ENSINANDO COM "MÁGICA": EQUILÍBRIO ESTÁTICO INSTÁVEL

José G. M. Soler – jgmsoler@pucpcaldas.br
Ana P. B. Rabelo – ana@pucpcaldas.br
Gabriel F.B.Eloy – gabrieleloy@msn.com
Júlio Cesar Vieira – julioandradas@yahoo.com.br
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – *Campus* Poços de Caldas
Av. Padre Francis Cletus Cox, 1661
CEP: 37700-000 – Poços de Caldas – MG

Resumo: O trabalho consiste em um desafio proposto no curso de Engenharia Civil da PUC Minas/campus Poços de Caldas, na disciplina "Introdução a Engenharia", onde os alunos são estimulados a equilibrar o maior número possível de hastes em um único ponto de apoio. Durante o desenvolvimento do projeto, diferentes tipos de materiais foram utilizados pelos alunos, tais como: madeira, papel, isopor e vidro. O melhor desempenho foi atingido utilizando o caule de folhas de palmeira imperial, árvore ornamental bastante comum na região. As folhas foram devidamente escolhidas e preparadas de acordo com seu tamanho, peso e formato. O resultado final com 33 hastes equilibradas em um único pedestal impressiona e se mostra um perfeito exemplo de um sistema em equilíbrio estático instável onde qualquer força externa causa um efeito visível em todas as peças. Para visualizar o experimento entre em http://www.youtube.com/watch?v=ytxJTgGmY70&feature=youtu.be

Palavras-chave: Ensino, Engenharia Civil, Introdução a Engenharia, Equilíbrio Estático.

1. INTRODUÇÃO

O curso de Engenharia Civil da PUC Minas/*Campus* Poços de Caldas pretende formar um profissional com criatividade, senso crítico, com capacidade de realizar trabalhos interdisciplinares; com conhecimentos tecnológicos, sociais e econômicos contemporâneos, éticos, com sólidos conhecimentos de matemática e física e capaz de utilizar a informática como ferramenta usual e rotineira, enfim, um profissional com formação genérica flexível e ampla (SOLER, 2004).

O aluno do curso de Engenharia Civil da PUC Minas/*Campus* Poços de Caldas inicia o curso, como na maioria das engenharias, adquirindo ferramentas matemáticas e físicas para suporte às disciplinas consideradas profissionalizantes. A fim de estimulá-lo a adquirir os conceitos mais importantes das disciplinas básicas, direcionam-se essas ao

curso de Engenharia Civil por meio de exemplos e mostrando aplicações dentro da área de interesse (SOLER, 2004).

Todo curso de graduação apresenta as competências que pressupõe que seus alunos, ao final do curso, devem possuir. Essas habilidades, em geral, são fragmentadas em várias disciplinas, ao fim das quais se admite que o objetivo foi alcançado, mas geralmente sem se verificar se o aluno realmente conseguiu relacionar as disciplinas à habilidade que deveria ser atingida.

Entende-se que no curso de graduação deva haver a oportunidade de realização de atividades nas quais haja a combinação dos elementos apresentados separadamente para a construção de um todo e que, para isso, deva proporcionar a oportunidade de desenvolvimento do poder criativo, da iniciativa intelectual, do desenvolvimento de um raciocínio mais receptivo, não linear, simultâneo, espacial, intuitivo e da capacidade de análise e síntese de uma atividade programada (STEMMER, 1988).

A disciplina "Introdução a Engenharia" presente no primeiro período do curso de Engenharia Civil da PUC Minas/*Campus* Poços de Caldas visa despertar no aluno recém-ingressado no ensino superior o interesse e paixão, por esta que será sua futura profissão. Um dos principais diferenciais dessa disciplina, além da explanação do formato do curso em si, é a possibilidade de explorar, por meio de trabalhos propostos em sala de aula, o potencial criativo do aluno, fator de extrema importância no profissional de engenharia.

Considerando isso, foi proposto um trabalho onde cada equipe deveria equilibrar o maior número de hastes em um único ponto de apoio, sendo livre a escolha do material a ser utilizado na elaboração da tarefa. Cada equipe seria forçada à experimentação, gerando discussões sobre as limitações no manuseio de cada tipo de material, discussões essas importantes no desenvolvimento do espírito de equipe, outro fator de extrema importância para o futuro profissional de Engenharia.

Durante a execução do trabalho, os alunos colocariam em prática fundamentos de disciplinas ainda não cursadas, tais como: a ação de forças sobre um sistema de corpos, momento e centro de massa, fundamentos vistos nas disciplinas de física e mecânica, presentes no segundo e quarto período do curso, respectivamente. Esse primeiro contato dos alunos, mesmo que "indireto", futuramente os ajudariam no melhor entendimento desses conceitos, uma vez que já foram aplicados.

2. A RELAÇÃO COM A SEQUÊNCIA DE FIBONACCI

Em 1202, um matemático de Pisa conhecido como Fibonacci publicou em seu "Livro dos Ábacos" um problema que consistia em calcular quantos coelhos poderiam ser produzidos em um ano, a partir de um único casal. Supondo que cada casal leva um mês, após nascer, para ficar fértil e gera sempre outro casal a cada mês, e que nenhum coelho morre durante o ano, Fibonacci chegou a uma sequência que dava o número de coelhos a cada mês: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377... Essa série, em que cada termo é obtido pela soma dos dois números imediatamente anteriores, ficou conhecida como a "sequência de Fibonacci" (FION, 2008).

Durante o experimento foi possível perceber uma relação com a chamada "sequência de Fibonacci", onde cada próxima peça deveria ser maior e mais pesada que sua antecessora, fato esse que implica em certa limitação quanto à quantidade total de peças no sistema, uma vez que este tende a se tornar inviavelmente grande e pesado

demais. A Figura 1 mostra uma imagem do sistema de equilíbrio estático desenvolvido. A Figura 2 mostra todas as peças equilibradas em um único ponto de apoio.

Figura 1. Sistema de Equilíbrio Estático Instável.

Figura 2. Estrutura equilibrada em um único ponto de apoio.

3. EQUILÍBRIO ESTÁTICO

Estática é um assunto que lida principalmente com a descrição das condições necessárias e suficientes nas quais as forças mantêm o estado de equilíbrio de estruturas de engenharia. Quando um corpo está em equilíbrio, a resultante de todas as forças que nele atuam é nula. Com isto, a força resultante R e o conjugado resultante M devem se anular, resultando nas seguintes equações de equilíbrio.

$$R = \Sigma F = 0 \quad (1) \quad e \quad M = \Sigma M = 0 \quad (2)$$

Estas são as condições necessárias e suficientes para se estabelecer o equilíbrio. Apesar de todos os corpos físicos serem inerentemente tridimensionais, muitos podem ser tratados num contexto bidimensional, desde que as forças a que estão submetidos atuem, ou possam ser projetadas, num único plano. Pensando nisso, foi elaborado um exemplo para o desenvolvimento dos conceitos descritos (Figura 2), explicando um fato que, inicialmente, parece uma mágica, mas que, na realidade, trata-se da teoria apresentada na disciplina de Mecânica do curso de Engenharia Civil.

4. ESTATICIDADE E ESTABILIDADE

Quando os apoios de uma estrutura são em número inferior ao necessário para impedir todos os movimentos possíveis, evidentemente, têm-se mais equações que incógnitas, chegando-se a um sistema de equações impossível, nos casos gerais. A estrutura será dita hipostática e será, então, instável, como a descrita na treliça da Figura 3, onde os nós A, B, C, D e E são articulações. Pode ocorrer uma situação de carregamento, tal que o próprio carregamento consiga impedir os graus de liberdade que os apoios não conseguirem impedir. Será então, um caso de equilíbrio, mas de equilíbrio instável, pois qualquer que seja a deformação imposta à estrutura, ela tenderá a prosseguir até a sua ruína (desequilíbrio)**.** As estruturas hipostáticas (Figura 3) são, então, inadmissíveis para as construções (SUSSEKIND,1979).

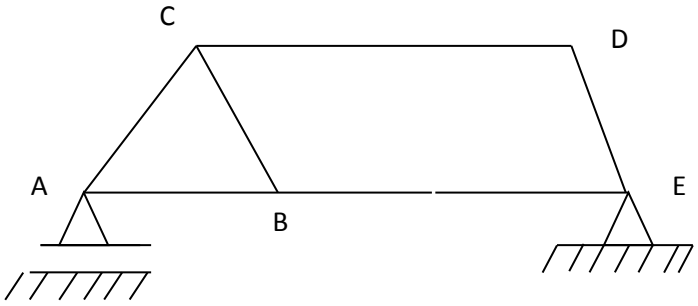

Figura 3 – Exemplo de estrutura Hipostática.

5. OBJETIVOS DO PROJETO

Um dos principais objetivos desse trabalho é estimular a criatividade, o espírito de equipe e a capacidade do aluno em lidar com limitações, frequentemente impostas no cotidiano do profissional da área de engenharia civil. A aplicação indireta de conceitos ainda desconhecidos para os alunos, visando o seu melhor entendimento no futuro, também foi um importante objetivo da atividade.

Os objetivos específicos deste trabalho podem ser definidos como:

a) *Desenvolvimento da criatividade:* como se pode perceber na introdução, uma das características que se pretende desenvolver num profissional de engenharia é a criatividade. Para solucionar o problema proposto, o envolvimento da criatividade, na escolha do material e do método a se utilizar, é muito grande.

b) *Trabalho em equipe:* o individualismo tende a estar presente nos cursos de graduação, uma vez que a competitividade acaba prevalecendo sobre o trabalho em equipe. Com este trabalho, os alunos começaram a trabalhar em grupo, o que foi importante na tomada de decisões, capacidade de argumentação, tolerância de opiniões, entre outros.

c) *Motivação:* a grande motivação, além da nota, foi buscar conseguir o melhor resultado utilizando os métodos e materiais escolhidos por cada equipe.

d) *Planejamento organizacional do projeto:* o início do projeto iria requerer a organização da equipe e o planejamento das atividades de cada um dos integrantes.

e) *Tomada de decisão:* verificar o senso de liderança e a capacidade de organização dos membros da equipe ao enfrentarem um problema ou desafio inédito.

6. DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto foi proposto pelo professor, quando tentou equilibrar várias réguas no intuito de demonstrar um equilíbrio instável. Cada equipe iria utilizar o material de sua escolha, visando como objetivo final o maior número possível de hastes equilibradas em um único ponto de apoio, que também seria de livre escolha do grupo. Os grupos teriam o prazo de um mês para o desenvolvimento do projeto, que seria apresentado e avaliado em sala de aula pelo professor.

A ideia de associar o equilíbrio com uma "mágica", ocorreu já que o sistema que consistia em numerosas hastes equilibradas em um único pedestal, formando uma espécie de estrutura instável, aparentava estar levitando no ar. Para a elaboração da "mágica" cada "peça" utilizada foi criteriosamente selecionada e preparada de acordo com seu tamanho, peso e formato.

6.1 Impacto Gerado

A avaliação do impacto desta proposta de trabalho no grupo de alunos engloba a análise da primeira reação, da forma como encararam o desafio e a tarefa atribuída a cada elemento do grupo. A expectativa gerada foi muito grande.

6.2 Elaboração da "Mágica"

Na resolução do desafio foram utilizadas várias técnicas e conceitos, e também vários materiais. Alguns grupos tentaram aumentar o vão, para consequentemente aumentar o peso e o torque gerado, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Sistema com aumento das hastes.

Já outros grupos mantiveram os vãos, mas aumentaram o peso de uma das extremidades, como pode ser visto na Figura 5.

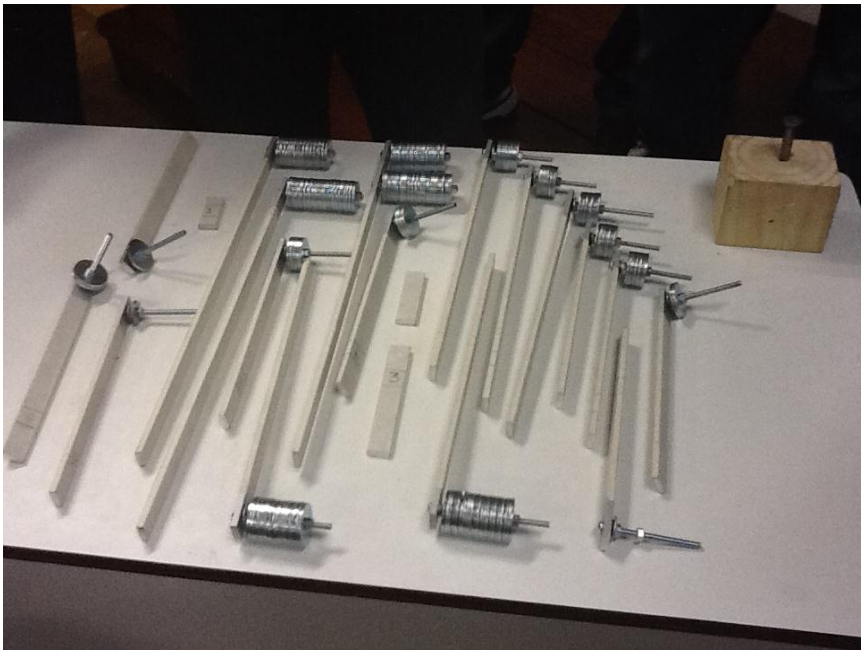

Figura 5. Sistema com aumento do peso de uma das extremidades.

Para a montagem do sistema em equilíbrio, inicia-se com as hastes mais leves, usando hastes mais pesadas gradativamente, como pode ser visto na Figura 6.

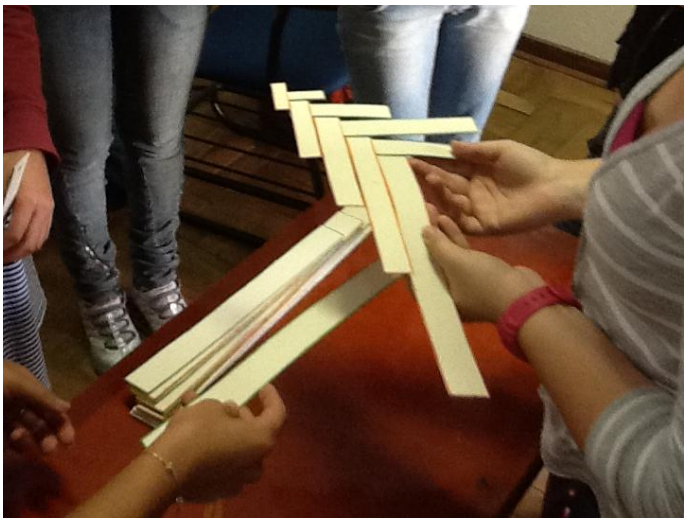

Figura 6 – Equilíbrio com hastes de papelão.

Para elaboração do experimento poderiam ser usados quaisquer materiais, desde que o equilíbrio fosse efetuado da mesma forma, ou seja, seguindo a sequência proposta pelo professor em sala de aula. Alguns preferiram usar como material a madeira conforme Figuras 7 e 8, outros utilizaram vidro conforme Figura 9 e outros ainda utilizaram isopor como se pode observar pela Figura 10.

Figura 7 – Equilíbrio com hastes de Madeira.

Figura 8 – Equilíbrio com hastes de Madeira.

Figura 9 – Equilíbrio com hastes de vidro

Figura 10 – Equilíbrio com hastes de isopor.

Os melhores resultados foram obtidos usando caules de folhas de palmeira imperial como hastes a serem equilibradas. O grupo que escolheu este material conseguiu equilibrar 33 hastes, conforme pode ser visto na Figura 1.

No final da atividade, ao retirar a primeira haste colocada, o sistema se desequilibra e se desfaz, mostrando assim a instabilidade do equilíbrio. Isso mostra também que todos os componentes são importantes para a conservação do equilíbrio.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os alunos mostraram-se muito motivados com o desafio proposto. Os grupos trabalharam de maneira organizada, não sendo observados atritos entre os integrantes. Havia um apoio significativo entre os grupos, no momento de equilibrar as hastes. A maioria dos alunos atingiu em torno de 20 a 21 hastes equilibradas, somente o grupo que utilizou o caule de palmeira imperial atingiu 33 hastes. Os principais objetivos do trabalho proposto que eram desenvolver a criatividade nos alunos, capacidade de trabalhar em grupo e um melhor entendimento sobre as condições necessárias para se atingir o equilíbrio, foram atingidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos alunos do primeiro período do curso de Engenharia Civil da PUC Minas *Campus* Poços de Caldas do ano de 2012 pela colaboração na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PION. Disponível em http://www.pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Artigos/O-numero-fi-e-a-sequeencia-de-Fibonacci, acesso em 19/03/2013.

STEMMER, C.E. A questão do projeto nos cursos de Engenharia – Texto número 1. **Revista de Engenharia.** V. 7, n. 1, p. 3-12, 1988.

SOLER, J.G.M., RABELO, A.P.B. A importância do projeto integrado nos últimos anos semestres dos cursos de graduação. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 14-17 março, 2004, São Paulo, Brasil. **Anais**. 2004, p. 811-815.

SUSSEKIND, J.C., **Curso de Análise Estrutural**, vol. 1, Ed. Globo, Porto Alegre, 1979.

TEACHING WITH "MAGIC": STATIC UNSTABLE EQUILIBRIUM

Abstract: The experiment consists of a proposed challenge at Civil Engineering from PUC Minas / campus Poços de Caldas, in the subject "Introduction to Engineering", where students are encouraged to balance the highest possible number of stems in a single point of support. During project development, different materials were used by students, such as: wood, paper, styrofoam and glass. The best performance was achieved using the stem of imperial palm leaves, ornamental tree quite common in the region. The leaves were properly chosen and prepared according to their size, weight and shape. The end result with 33 stalks balanced on a single pedestal impressive and shows a perfect example of an unstable system in static equilibrium where any external force causes a visible effect on all parts. To view the experiment please http://www.youtube.com/watch?v=ytxJTgGmY70&feature=youtu.be

Key-words: Education, Civil Engineering, Introduction to Engineering, Static Equilibrium.