OS MODELOS FÍSICOS E O LABORATÓRIO DIDÁTICO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Osvaldo S. Nakao – osvaldo.nakao@poli.usp.br
José A. A. Guarita Filho – jose.guarita@poli.usp.br
Carlos de O. Monteiro – carlos.monteiro@poli.usp.br
Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações
Av. Prof. Almeida Prado, travessa 2, nº. 83
05508-900 – São Paulo, SP

Resumo: *O Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações oferece disciplinas de Resistência dos Materiais para todas as habilitações de Engenharia da Escola Politécnica da USP e para o curso de Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Assim, tem-se a preocupação de oferecer cursos adequados – na duração e no conteúdo - às necessidades dos alunos de cada uma dessas habilitações ou curso. Para se ministrar um programa compacto, porém eficiente, tendo em vista que os conceitos destas disciplinas são essenciais para a formação básica e necessária para a continuidade do estudo de outras disciplinas propôs-se o aperfeiçoamento de modelos didáticos que auxiliassem no aprendizado. Elaborando-se os modelos físicos qualitativos descritos na literatura e criando-se novos modelos está se obtendo um material didático de apoio adequado ao tempo e ao ritmo dos diversos conteúdos programáticos propostos. No artigo, descrevem-se também as atividades realizadas por dois alunos de graduação em Engenharia Civil no Laboratório Didático de Resistência dos Materiais. As atividades deste laboratório estão ligadas também ao desenvolvimento de experimentos para complementar os ensinamentos em sala de aula e para aumentar a motivação pelo estudo.*

Palavras-chave: *Resistência dos Materiais, Modelos físicos qualitativos, Laboratório didático*

1. INTRODUÇÃO

O Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações oferece o curso de Resistência dos Materiais para os alunos de todas as habilitações do curso de engenharia da Escola Politécnica da USP. As diversas disciplinas foram criadas em função dos objetivos estabelecidos em cada uma das habilitações. A duração e o conteúdo são variáveis e a preocupação é com programas que mesmo sendo compactos sejam eficientes.

Na Grande Área Elétrica, a disciplina tem dois créditos e o desafio é fazer com que os alunos se interessem por essa disciplina que embora básica para o curso de Engenharia não poderia despertar a atenção daqueles que estão mais interessados em circuitos e programas. NAKAO (1999, 2001), NAKAO *et al.*(2000) e outros autores têm mostrado que isso é possível.

Como para os alunos de Engenharia de Produção, os conceitos desta disciplina são essenciais para a formação básica e necessários para a continuidade de outra disciplina - Elementos de Máquinas - na disciplina de quatro créditos, o desenvolvimento e a formação que se propõe não deixam de focar também esse aspecto.

Considerando, portanto, as limitações, restrições e motivações em cada uma das disciplinas, criaram-se dentro do Laboratório Didático de Resistência dos Materiais modelos e experimentos, sempre com o objetivo de auxiliar o aprendizado. Em 1999, construíram-se alguns modelos conforme descrito por IOSHIMOTO e NAKAO (1999).

O Laboratório Didático de Resistência dos Materiais foi inaugurado em 2001 com o objetivo de apoiar as disciplinas e conta com um conjunto de modelos didáticos, alguns dos quais foram desenvolvidos dentro de um Programa de Iniciação Tecnológica da Fundação do Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia da Escola Politécnica da USP.

Ocupando uma área de cerca de cinqüenta metros quadrados o Laboratório tem cinco bancadas para o trabalho dos alunos, mas como as disciplinas são geralmente oferecidas para turmas com mais de sessenta alunos e a cultura dominante é ainda das aulas expositivas, os modelos e as experiências são levados pelos professores para as salas de aula como um Laboratório de demonstrações. O grande número de alunos que a Escola Politécnica tem, 750 ingressantes a cada ano, também dificulta o uso do Laboratório de outra forma. Atende também aos alunos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP que tem 180 ingressantes a cada ano.

Figura 1. Laboratório Didático de Resistência dos Materiais

2. MODELOS FÍSICOS QUALITATIVOS

No Hall Tecnológico, onde se situa, o Laboratório de Estruturas e Materiais estruturais do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, os alunos de graduação José

Armando e Carlos Monteiro tomaram contato com os diversos trabalhos tecnológicos e, principalmente, desenvolveram os seguintes temas da Resistência dos Materiais pelos modelos executados em suas oficinas: Esforços solicitantes (forças de compressão, de tração, cortante, momentos de flexão e de torção); Hipótese de Navier; Empenamento; Distribuição de tensões; Concentração de tensões; Decomposição de forças e momentos; Planos de atuação dos esforços solicitantes; Tensões; Deformações.

Alguns dos modelos físicos foram confeccionados seguindo-se os expostos por SANTOS (1986), outros foram criados no próprio Laboratório Didático de Resistência dos Materiais.

2.1 MODELO VSR - viga de silicone de seção retangular

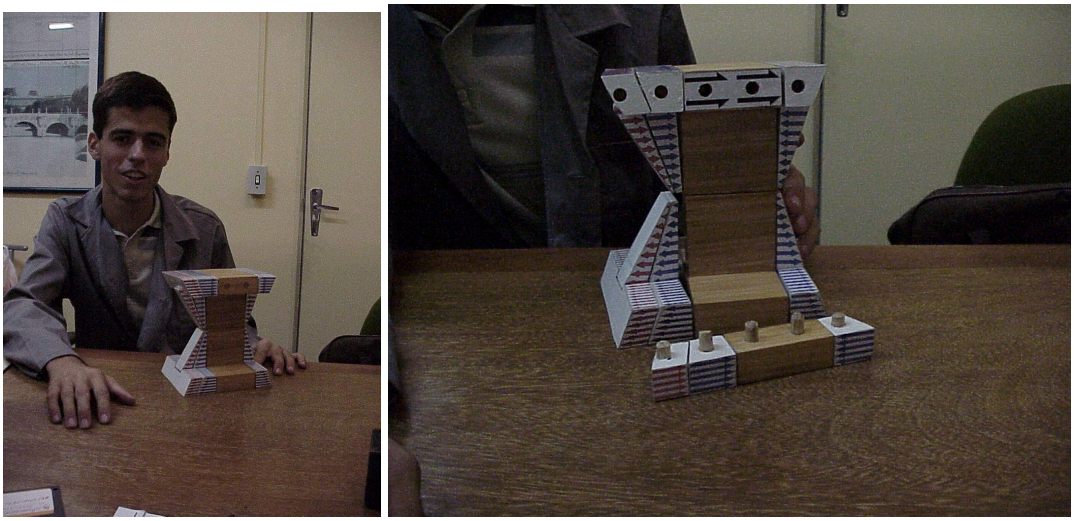
O modelo foi executado com *silicone para modelar com catalisador RTV 573*.
O molde definitivo foi feito com madeira, e as ranhuras com fresadeira.

Figura 2 Viga de seção retangular em silicone

2.2 MODELO VMI - Elemento de viga I com tensões normais e de cisalhamento

Foi elaborado um modelo que representam as tensões normais e de cisalhamento numa seção I submetida à flexão simples. O modelo foi baseado numa figura existente na literatura POPOV (1978) sugerida para consulta.

Figura 3. José Armando Guarita e a Viga I com as tensões normais e de cisalhamento



2.3 MODELO BMAE - Blocos para visualização das decomposições das forças e dos momentos e dos planos de atuação dos esforços solicitantes.

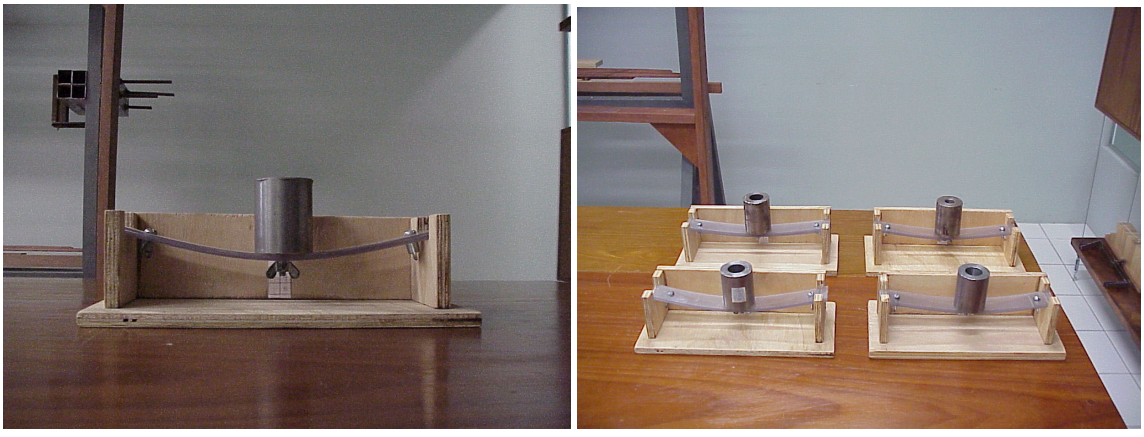
Foram elaborados blocos e armações de aço representando os elementos de barras, a força cortante, a força normal, o momento fletor e o momento de torção numa seção transversal. Para auxiliar na compreensão e representação dos planos de representação dos esforços solicitantes nas estruturas espaciais. Os planos são representados por blocos de espuma.

Figura 4. Modelo BMAE

2.4 MODELO VPCs - Efeito das tensões de cisalhamento na flexão em barras biapoiadas

Este modelo ilustra o efeito das tensões de cisalhamento devido à força cortante na flexão de barras simplesmente apoiada. Verifica-se o aparecimento das tensões de cisalhamento nos planos horizontais pelo equilíbrio com as tensões de cisalhamento nas seções transversais devido à força cortante. A deformada e a respectiva flecha que se observa quando coloca-se o peso no meio do vão sobre a viga simplesmente apoiada é o retrato da existência dessas tensões. A viga pode ser constituída pelas três barras, umas sobre as outras, ou ainda unidas pelos parafusos de forma a evitar o deslizamento dessas quando do carregamento aplicado. São réguas de policarbonato perfuradas em três pontos cada um deles possibilitando a junção das barras por meio de parafusos com porcas. Sobre o sistema se aplica um peso, verificando-se com o auxílio da faixa graduada colada na madeira a flecha que se produz. Quando se soltam as porcas, as barras podem deslizar livremente entre si. A base foi construída em madeira.

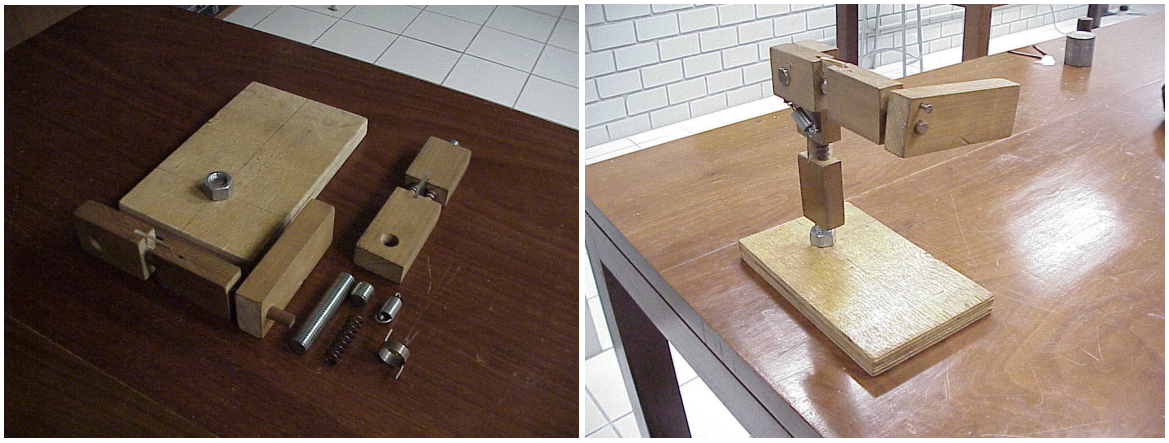
Figura 5. Modelo VPCs



2.5 MODELO VMP - ilustração dos deslocamentos em uma estrutura reticulada espacial, isostática e engastada em uma das extremidades, para uma força aplicada verticalmente na extremidade livre:

O modelo tem por objetivo mostrar como a carga, caminhando por uma estrutura espacial, solicita cada barra e provoca os deslocamentos na estrutura. Para isso, o modelo permite o travamento de cada barra, permitindo que se mostrem as solicitações que nela atuam pela passagem da carga. As deformações permitem identificar esses esforços. Finalmente, pode-se deixar livres todos os travamentos da estrutura e mostrar os deslocamentos decorrentes da somatória desses efeitos, que juntos geram os deslocamentos reais da estrutura. O modelo foi concebido em madeira, contendo molas, parafusos, pregos e chapas de acrílico.

Figura 6. Modelo VMP



2.6 MODELO BMBNC - cubo e placa ligada por borracha

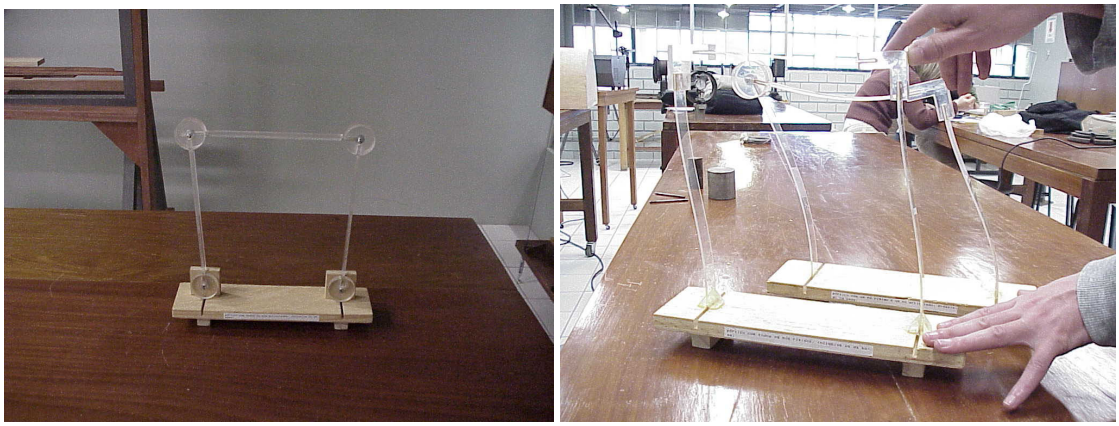
Confeccionado com madeira e borracha permite mostrar a força normal de tração e a força cortante atuando.

Figura 7. Modelo VMP e Carlos Monteiro

2.7 MODELO PAcR - pórticos articulados em todos os nós

Conjunto de três pórticos para analisar e mostrar os efeitos das articulações dos nós nos apoios. São confeccionados em madeira e acrílico.

Figura 8. Pórticos



2.8 MODELO BMB - modelo de estrutura suporte que permite a montagem de diversas configurações de estruturas reticuladas planas, aplicação de esforços e verificação de comportamento, além de ilustrar o método das forças para resolução de estruturas hiperestáticas

O modelo ilustra o comportamento de barras biapoiadas ou contínuas, sendo ou não engastadas nas extremidades. As barras podem apresentar descolamentos de conformidades diferentes em função dos tipos de apoios que podem ser configurados por intermédio de ajustes nas dobradiças e extremidades das barras. O modelo permite a montagem de diversas configurações de estruturas reticuladas planas, além de ilustrar o funcionamento do método das forças. Para a sua adequada utilização, em função dos diversos elementos constituintes e das diversas possibilidades de montagem, como o modelo não se explica, foi criado um roteiro de utilização, conhecido como bula, que acompanha o modelo. Através de uma rápida consulta o professor pode identificar as possibilidades de montagens e seus fins. Para tal, todos os elementos foram identificados, assim como os orifícios de encaixe na base, estando presentes no roteiro as devidas combinações que devem ser realizadas para a montagem de uma configuração específica.

Figura 9. Modelo BMB

3. EXPERIÊNCIAS

3.1 LATA DE REFRIGERANTE - uso da extensometria para o cálculo da pressão interna numa lata de refrigerante

A extensometria é apresentada aos alunos de uma forma bem resumida e objetiva pois dependendo da habilitação ou é da rotina nos laboratórios ou não é do seu interesse. Além do objetivo de mostrar aos alunos os benefícios dessa tecnologia, a motivação em relação à Resistência dos materiais é aumentada ao se escolher uma lata de refrigerante como elemento da experiência.

Atualmente muito utilizada para acompanhar as deformações nas estruturas, a extensometria tem desempenhado um papel importante no monitoramento dos elementos de pontes e a sua utilização numa experiência didática permite que o futuro profissional tome contato com essa tecnologia.

Como o Laboratório Didático de Resistência dos materiais funciona como um laboratório de demonstrações, a experiência é previamente montada e as diversas fases de preparação são explicadas aos alunos e em classe, após a montagem do aparato, mede-se a deformação quando da abertura da lata. A experiência foi formalizada seguindo-se o que se fazia anteriormente conforme relatado por NAKAO e COELHO (2001).

3.2 PROVA DE CARGA EM ESTRUTURAS TRELIÇADAS - projeto e construção de estruturas treliçadas

Na disciplina oferecida pelo Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações no ano de 2002, os alunos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, como uma das suas atividades, projetaram e construíram uma estrutura treliçada com barras de madeira (de aeromodelismo ou de construção de pipas) que suportasse no meio do vão de dois metros uma carga de cinqüenta quilogramas-força. O projeto envolveu a investigação da carga de ruptura à tração e à compressão de cada barra, a concepção da forma, a verificação dos esforços normais em cada barra, a construção e finalmente a prova de carga. Exatamente como ROMERO e MUSEROS (2002) destacam é fundamental unir a teoria e a prática. Os alunos responderam à altura propondo estruturas de formas variadas e muitas delas passaram pela prova de carga conforme figura.

Figura 10. Prova de carga

4. CONCLUSÕES

A paixão pelo conhecimento não pode ser imposta. Ela precisa nascer e se manter por motivação própria e voluntária. Nenhuma motivação pode depender exclusivamente de fatores externos como a nota (avaliação), o papel diante dos colegas (fracasso ou sucesso), professores ou pais ou a remuneração por um serviço (no futuro).

Para um estudante é fundamental o pleno entendimento de um assunto. Só assim ele se motivará para um investimento maior para o estudo e para a investigação. Se não entende um conceito ou é incapaz de chegar a uma conclusão não conseguirá se convencer da sua importância na dimensão adequada.

Para o entendimento dos conceitos de Resistência dos Materiais, exige-se uma abstração e uma capacitação que às vezes não se tem (NAKAO, 2000, 2002) advindo daí o grande número de reprovações.

Atualmente há a consciência de que cabe ao professor um papel cada vez mais ativo no processo de ensino e aprendizagem. Todos os recursos devem ser tentados para otimizar o que se investe no ensino seja aproveitando o tempo em sala de aula da melhor forma seja melhorando a comunicação entre o professor e o aluno.

Os modelos físicos e o Laboratório Didático certamente ajudarão a reduzir inclusive o número de reprovações porque ajudarão a suprir as faltas que eventualmente existam nas escolas, nos professores e nos alunos.

Agradecimentos

Registram-se aqui os agradecimentos a todos os professores do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da USP que viabilizaram a montagem do Laboratório Didático de Resistência dos Materiais contribuindo com as suas ações individuais, seus posicionamentos nos Conselhos e também com as doações de equipamentos que possibilitaram o seu funcionamento.

Um agradecimento especial à Fundação do Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - FDTE pelas bolsas de iniciação tecnológica concedidas sem as quais não teria sido possível a realização desses modelos e experimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IOSHIMOTO, L., NAKAO, O. S. **Elaboração de modelos físicos qualitativos e outros elementos auxiliares para o entendimento do conteúdo programático de PEF-201 Resistência dos materiais**, 1999. Relatório Bolsa Trabalho, COSEAS, USP, São Paulo.

NAKAO, O. S. Motivando alunos de Engenharia de Computação para o estudo de fundamentos de Resistência dos Materiais In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 1999, Natal. **Anais COBENGE'99 - XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, 1999.

NAKAO, O. S. Corrigindo os requisitos dos alunos de Engenharia para os estudos de Fundamentos de Resistência dos Materiais In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2000, Ouro Preto. **XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**. , 2000.

NAKAO, O. S., SIQUEIRA, F. L., SILVA, V. F. Aprendendo fundamentos da Resistência dos Materiais ao desenvolver um programa de computador In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2000, São Paulo. **Anais ICECE 2000 International Conference on Engineering and Computer Education**. Caucaia: CD+ - Nordeste Digital Line S/A, 2000.

NAKAO, O. S. O desafio de estudar linguagens de programação para aplicação num curso de Mecânica das Estruturas In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2001, Porto Alegre. **XXIX COBENGE: Anais. Porto Alegre, ABENGE, 2001**. Caucaia, Ceará: CD+, Nordeste Digital Line S/A, 2001.

NAKAO, O. S., COELHO, L. A. B. Como interligar conhecimentos teóricos e aplicá-los num problema real? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2001, Porto Alegre. **XXIX COBENGE: Anais. Porto Alegre, ABENGE, 2001**. Caucaia, Ceará: CD+, Nordeste Digital Line S/A, 2001.

NAKAO, O. S. Como facilitar a aprendizagem respeitando-se as diferenças entre os alunos de engenharia? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 30, 2002, Piracicaba. **XXX COBENGE: Anais (em CD-ROM).** 2002.

POPOV, E. P. **Introdução à mecânica dos sólidos**. Tradução de Amorelli, M. O. C. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

ROMERO, M. L., MUSEROS, P. Structural Analysis Education through Model Experiments and Computer Simutation. **Journal of professional issues in engineering education and practice**. Reston, v. 128, n. 4, p. 170-5, 2002.

SANTOS, J. A**. Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos qualitativos na Engenharia de Estruturas**. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PHYSICAL MODELS AND DIDACTIC LABORATORY'S STRENGTH OF MATERIALS

Abstract: *The Department of Engineering of Structures and Foundations offers disciplines of Strength of the Materials for all the students of Escola Politécnica da USP and for the course of Architecture of Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Thus, there is a concern to offer adequate courses - at the duration and the content - for the necessities of the students in each one of these courses. Giving a compact but efficient program, in view of these disciplines' concepts are essential for the basic formation and necessary to continuity of the study, it was proposed the perfectioning of didactic models that could assist the learning. Elaborating the qualitative physical models described in literature and creating new models, it is getting a didactic material of adequate support into the time and the rhythm of the diverse contents proposed. In this article, it's also described the activities done by two students from graduation in Civil Engineering at the Didactic Laboratory of Strength of the Materials. The activities of this laboratory are also including the development of experiments to complement the teaching in classroom and to increase the motivation for the study.*

Key words*: Strength of the Materials, Physical Models, and Didactic Laboratory*