

VISUALIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS PARA ALUNOS DE ENGENHARIA

Oswaldo Shigueru Nakao (1); Ricardo Gaspar (2)

(1) Professor Mestre, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Email: osvaldo.nakao@poli.usp.br
Av. Prof. Almeida Prado, travessa 2, nº 83 – CEP: 05508-900 - São Paulo - SP
tel. 55 11 3091.5704 fax: 55 11 3091.5181

(2) Doutor em Engenharia de Estruturas pela Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Professor, Faculdades Oswaldo Cruz
Email: gaspar@usp.br
Rua Siqueira Bueno, 2295 – CEP 03173-010 – São Paulo – SP
tel. 55 11 3091.5677 fax: 55 11 3091.5181

TEMA: Novas Tecnologias e Metodologias no Ensino de Engenharia

RESUMO

Alguns dos assuntos desenvolvidos no ensino de graduação em engenharia apresentam conceitos muito abstratos. É o caso, por exemplo, dos relacionados com Resistência dos Materiais e Estabilidade das Estruturas.

Devido a este abstratismo e, algumas vezes, ao envolvimento de muitos equacionamentos matemáticos, freqüentemente observam-se tanto atitudes de rejeição como de desinteresse de alguns estudantes.

Além disso, os estudantes de hoje, pertencendo à “civilização da imagem”, preferem que as aulas apresentem muitas cenas da realidade e ilustrações ricas em detalhes. Mesmo sabendo que há uma grande diversidade nos perfis individuais, percebem-se dificuldades de raciocínio e de imaginação das atuais gerações que podem ser superadas com a visualização de fenômenos reais.

Os alunos de graduação raramente têm a oportunidade de ver o comportamento das estruturas nas próprias escolas de engenharia como o fazem os alunos de pós-graduação que freqüentam laboratórios de pesquisa porque nem todas as escolas dispõem de laboratórios.

Para suprir essa etapa de vivência do real que permitiria um aprendizado mais rápido e vigoroso, propõe-se a montagem de um laboratório de demonstrações que podem ser realizadas na própria sala de aula. O transporte de equipamento de ensaio (de tração, compressão e flexão) para a sala de aula não é viável mas é possível a montagem de pequenos conjuntos didáticos .

Portanto, o objetivo deste trabalho é a apresentação de uma metodologia aplicada para ilustrar o comportamento de estruturas em salas de aulas. Propõe-se a montagem de pequenos experimentos. Assim, pode-se mostrar os efeitos dos esforços solicitantes em estruturas de barras, medir momentos fletores e avaliar de deformações.

A apresentação do comportamento de estruturas em salas de aula certamente contribuirá para um melhor entendimento dos conceitos teóricos importantes.

Palavras chaves: Ensino, Esforços Solicitantes, Engenharia Civil, Ensaios, Resistência dos Materiais.

1. INTRODUÇÃO

A ignorância simplifica e pode levar a conclusões equivocadas mas, se há uma direção comum a alguns caminhos ela deve ser considerada.

Com a eliminação do currículo mínimo e do Exame Nacional de Cursos, para muitos dos estudantes, algumas das disciplinas de Mecânica das Estruturas da Escola Politécnica da USP não deveriam ser obrigatórias para a formação geral do engenheiro. E, talvez por exigirem muito estudo e dedicação para a sua correta compreensão e assimilação, são classificadas pelos alunos como demasiadamente teóricas, acima do que seria necessário, conforme já havia sido detectado por BRINGHENTI (1993).

Para apoiar as pesquisas na Escola Politécnica da USP há um Hall Tecnológico onde os professores e alunos de pós-graduação comprovam, na prática, as teorias e as hipóteses formuladas. Este espaço é também aproveitado pelos professores de graduação interessados em fazer o aprendiz cumprir uma das etapas do processo de aprendizagem que é estar atento ao que se apresenta e ao que acaba de acontecer de acordo com BOUJON et QUAIREAU (2000). Com exemplos do cotidiano consegue-se obter essa atenção.

Mas, nem todas as escolas de engenharia possuem laboratórios onde se possam realizar experimentos que comprovem os conceitos teóricos apresentados em salas de aula. Além disso, por uma questão cultural, valoriza-se mais a carga horária das disciplinas mais teóricas do que a carga horária das disciplinas de laboratório. Portanto para tornar um curso de Mecânica das Estruturas mais prático, a alternativa é trazer as imagens do que ocorre nas estruturas reais para a sala de aula, mesmo nas aulas meramente expositivas.

Assim, um dos objetivos deste trabalho é fornecer uma opção aos professores dos cursos de Engenharia para despertarem a motivação em seus alunos obtendo a sua atenção com a visualização do comportamento de estruturas, como já fizeram NAKAO (2003) e GASPAR et NAKAO (2004).

2. CONCEITUAÇÃO DO APRENDIZADO

As grandes transformações da sociedade que se iniciaram em 1960 e que foram rapidamente acentuadas nas décadas seguintes advêm dos progressos da tecnologia e da globalização. Estes fatores, sem dúvida, modificaram o comportamento humano em vários aspectos (GASPAR et NAKAO, 2004).

Essas mudanças no modo de ser e no comportamento das pessoas afetaram também toda a sistemática do ensino e do aprendizado. O poder de um veículo de comunicação como a televisão ou a presença cada vez maior dos gráficos e das fotografias nos livros e nas revistas são exemplos da atual “civilização da imagem”.

As altas velocidades com que as mensagens e as imagens são transmitidas pela mídia, diminuem, em alguma medida, a capacidade de raciocínio e a imaginação das pessoas, pois nesse ritmo não há as devidas reflexões para a adequada assimilação.

Assim, não é conveniente utilizar-se apenas do método de ensino tradicional unicamente com exposições verbais dos fenômenos. Os relatos das experiências didáticas nos congressos de ensino de engenharia comprovam a dificuldade de concentração e de visualização de conceitos abstratos pelos alunos de hoje. Na Engenharia, a falta da evidência de um fenômeno físico faz com que ele seja de difícil absorção. Para se ter sucesso no processo de ensino e aprendizagem, é fundamental fazer uso também da “imagem” para ilustrar os conceitos apresentados em sala de aula.

ANTUNES (2001) resume como cada uma das metades do cérebro percebe a realidade e trabalha de maneira diferente cada estímulo recebido: o lado esquerdo é verbal e analítico e o lado direito é rápido, complexo, espacial, perceptivo e configuracional. Essa realidade já define que é sempre desejável se ter diversas formas de comunicação.

As representações através de símbolos, tabelas, gráficos, desenhos e fotografias permitem a comunicação e auxiliam nas atividades cognitivas do pensamento.

Os objetos da Mecânica das Estruturas como *tensões* não são acessíveis à percepção imediata e portanto necessitam de uma representação. Às vezes, há diversas formas de representação para um mesmo fenômeno como no caso dos *momentos*. Sabe-se que para um conhecimento ser adquirido deve-se passar de uma representação à outra. Assim, o domínio dessas representações é muito importante pois se não forem feitas as conversões adequadas, não se observará a apreensão do conhecimento.

Para o aluno, é difícil a visualização do comportamento das estruturas conforme têm sido verificado na primeira aula da disciplina PEF 2200 Introdução à Mecânica das Estruturas em que os alunos têm como atividade traçar as deformadas de vigas (simplesmente apoiadas, em balanço, contínuas) quando submetidas a carregamentos verticais.

O que vale para a Educação Matemática pode ser estendido para o ensino de Engenharia (MACHADO, 1999). O problema se estabelece porque só se levam em consideração as atividades cognitivas de formação de representações. Esquece-se que a conceituação é a coordenação entre os vários registros de representação. Por exemplo, não adianta o aluno resolver uma operação usando material concreto ou através de um desenho se não conseguir enxergar estes procedimentos no tratamento matemático.

Portanto, para se ter sucesso no ensino de engenharia não convém estabelecer apenas uma forma de apresentação. Associar o conceito ao fenômeno físico e ilustrar os efeitos deste fenômeno aos casos reais parecem ser uma estratégia que além de permitir essas diferentes formas de representação tem a vantagem da motivação.

Talvez com essa estratégia seja também mais fácil para o aprendiz aceitar o modelo matemático que muitas vezes lhe é imposto.

NAKAO et LINDENBERG-NETO (2001) e LINDENBERG-NETO et AREVALO (1998), defendem a utilização de imagens em aulas de Mecânica das Estruturas, ilustrando as aulas puramente expositivas com transparências e outros multimeios.

Assim, apesar de ser preconizada a utilização desses recursos, mesmo nas escolas de engenharia onde se desenvolvem programas de pós-graduação, as pesquisas e os dados experimentais obtidos são pouco divulgados. Na graduação, os alunos ainda não se interessam por estes temas e acabam não aproveitando essa oportunidade de compreender melhor os conceitos enunciados.

Atualmente, muitos professores já utilizam o notebook e o projetor para trazer as imagens para o ambiente da sala de aula. Mas, deve-se lembrar que as aulas que são ministradas somente com recursos multimídia, também não alcançam muita popularidade entre os alunos que costumam chamar os recursos de projeção de “máquinas do sono”.

Num laboratório de demonstrações o comportamento de estruturas pode ser observado pela representação muito próxima da real com o auxílio da análise experimental de estruturas e o nível de atenção certamente seria maior do que na projeção de uma transparência ou filme.

3. ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS

O comportamento de uma estrutura pode ser determinado pelas forças e deformações obtidas após a aplicação de um certo carregamento SABINS (1983).

A medição dessas forças e deformações é feita por meio de sensores, condicionadores de sinais e sistemas de aquisição de dados.

As deformações específicas de uma estrutura podem ser determinadas por extensômetros mecânicos ou, principalmente, por extensômetros elétricos de resistência (*strain gages*). Os extensômetros mecânicos são úteis para ajudar a visualizar o alongamento e o encurtamento das fibras de uma viga submetida a flexão, por exemplo.

O princípio de funcionamento dos extensômetros elétricos é a variação da resistência elétrica de um fio que se encontra no interior de tais sensores. Essa variação é determinada conforme a seguinte equação:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \epsilon \quad \epsilon = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{k} \quad (1)$$

onde:

R = resistência do fio, em Ω

ΔR = variação da resistência do fio, em Ω

ϵ = deformação específica do fio (m/m)

k = constante própria a cada extensômetro

Verifica-se que a variação de resistência que ocorre nos extensômetros, quando deformados, é semelhante às deformações específicas que ocorrem em estruturas.

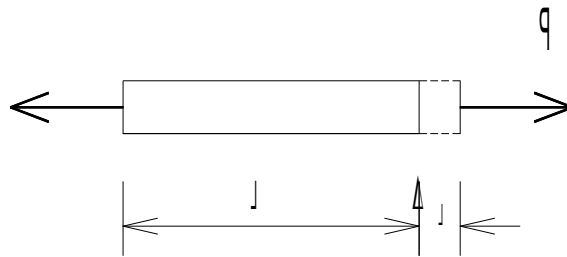


Figura 1 Barra tracionada

No caso de uma barra tracionada, como ilustrado na Figura 1, a deformação específica é dada por:

$$\frac{\Delta L}{L} = \epsilon \quad (2)$$

Portanto, fixando-se extensômetros elétricos de resistência em uma estrutura, pode-se facilmente relacionar suas deformações com as deformações ocorridas no extensômetro

A grande vantagem destes extensômetros é a relativa facilidade de se amplificar os sinais de saída, podendo ser continuamente gravados em sistemas de processamento de dados sendo, portanto, apropriados para ensaios estáticos e dinâmicos. A sensibilidade desses extensômetros elétricos é da ordem de 0,000001 m/m (comumente chamado de *microstrain*).

As células de cargas — sensores utilizados para medir o valor de cargas concentradas (força) — têm em seu interior extensômetros elétricos. As deformações ocorridas no interior dessas células, quando submetidas a cargas de compressão, modificam a resistência elétrica de seus extensômetros internos, cujos efeitos são amplificados e medidos em aparelhos condicionadores de sinais e, em seguida, relacionados com a magnitude da carga aplicada.

Para aqueles professores que não dispõem de um aparelho condicionador de sinais sugere-se a construção de um como o que segue.

Um tipo de circuito que é largamente usado para se efetuar medidas da variação de resistência com precisão é a ponte de Wheatstone. O diagrama do circuito de uma ponte de Wheatstone é mostrado na Figura 2.

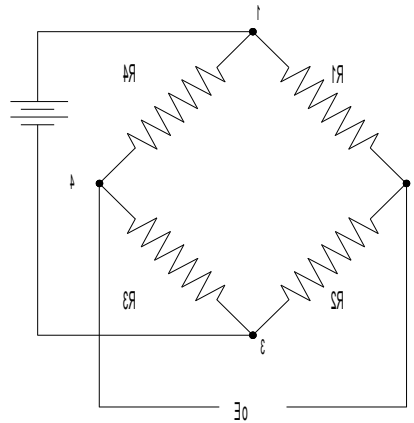


Figura 2 Ponte de Wheatstone

Considerando-se $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$, ou seja, ponte equilibrada, tem-se $E_0 = 0$. Se o valor de algum de seus resistores for alterado, por exemplo, pela deformação de extensômetro, a ponte ficará desbalanceada, provocando uma diferença de potencial E_0 . Se este sinal for amplificado poderá ser facilmente analisado.

Após a amplificação linear deste sinal por meio de um amplificador operacional é possível registrar deformações medidas pelos extensômetros. Consegue-se assim um pequeno condicionador eletrônico de medidas.

Devido à facilidade de montagem destes circuitos, com tamanhos e custos muito reduzidos, sua utilização pode ser viabilizada para a montagem de pequenos conjuntos para demonstração de experimentos em salas de aula.

Passa-se a uma aplicação prática de análise experimental do comportamento de uma estrutura de barra.

4. CONJUNTO DIDÁTICO EXPERIMENTAL

Ao se submeter uma viga em balanço a uma força concentrada na extremidade livre e ao efetuar a análise do comportamento conforme a Figura 3, permite-se a apresentação e a discussão de vários conceitos teóricos de Resistência dos Materiais.

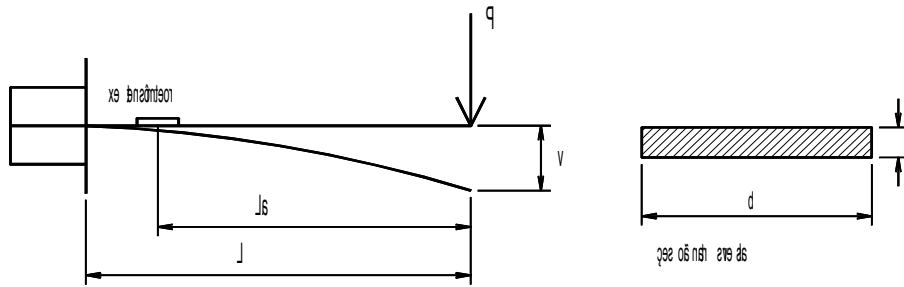


Figura 3 Barra engastada

Da análise teórica do comportamento desta barra são determinados: momento fletor, linha elástica, flecha máxima, tensões normais de tração e compressão nas fibras externas.

No ponto onde está locado o extensômetro elétrico de resistência podem ser determinados teoricamente:

- Momento fletor: $M = P \cdot L_a$
- Tensão normal (Hipótese de Bernouille): $s = \frac{M}{I} \cdot y$ onde $y = \frac{h}{2}$
- Flecha máxima: $v = \frac{PL^3}{3EI}$

Se, após a apresentação destes conceitos teóricos, for possível representar o fenômeno experimentalmente, o aprendiz terá a oportunidade de observar uma outra forma de representação e as conversões de uma representação na outra permitirão o aprendizado.

O conjunto didático proposto é ao mesmo tempo muito versátil, de fácil montagem e transporte. Na sua montagem necessita-se de:

- Uma barra de madeira ou metálica com dimensões aproximadas de (500×30×8) mm;
- Um extensômetro elétrico de resistência – *strain gage*;
- Uma ponte de Wheatstone e um amplificador operacional (condicionador eletrônico de medidas);
- Um transdutor mecânico de deslocamentos – curso de 50 mm (± 0,01 mm);
- Pesos previamente calibrados.

Deve-se instalar o extensômetro elétrico de resistência (*strain gage*) no eixo da face superior da barra, num local próximo ao engastamento.

O extensômetro deve ser ligado ao conjunto para leitura direta da deformação específica da barra, quando suas fibras superiores forem alongadas após a aplicação dos pesos.

É necessário ainda o Módulo de Elasticidade do material da barra o qual é obtido em tabelas ou determinado previamente em ensaio de laboratório.

Com os dados da geometria da barra determina-se o momento de inércia da seção transversal, que, no caso de seção retangular, tem-se:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3)$$

Na extremidade da barra deve ser instalado um transdutor mecânico de deslocamentos, com curso de 50 mm ($\pm 0,01$ mm) para determinar os deslocamentos verticais (flecha) quando a barra for submetida a carregamentos concentrados, como indica a figura 4.

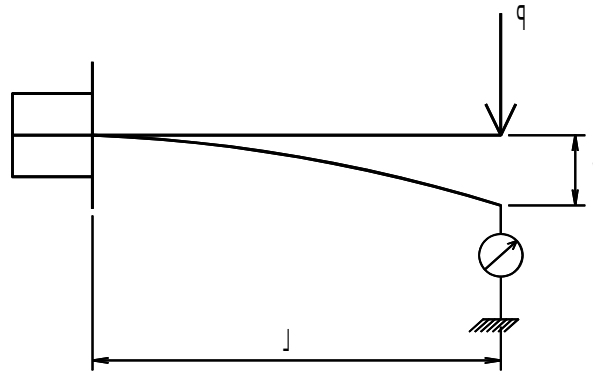


Figura 4 Transdutor mecânico de deslocamentos instalado a extremidade da barra

Ao ser aplicada a carga P, a viga vai se deformar, submetendo as fibras superiores da barra a esforços de tração. Estas deformações (ϵ) são captadas pelo extensômetro elétrico de resistência.

Com o valor experimental da deformação e, conhecendo-se o Módulo de Elasticidade do Material (E), determina-se a tensão experimental de tração pela lei de Hooke, ou seja,

$$s = E \cdot e \quad (4)$$

Em seguida, o momento fletor experimental nesta mesma seção é determinado pela seguinte relação: $\sigma = \frac{M}{I} \cdot y$, ou seja,

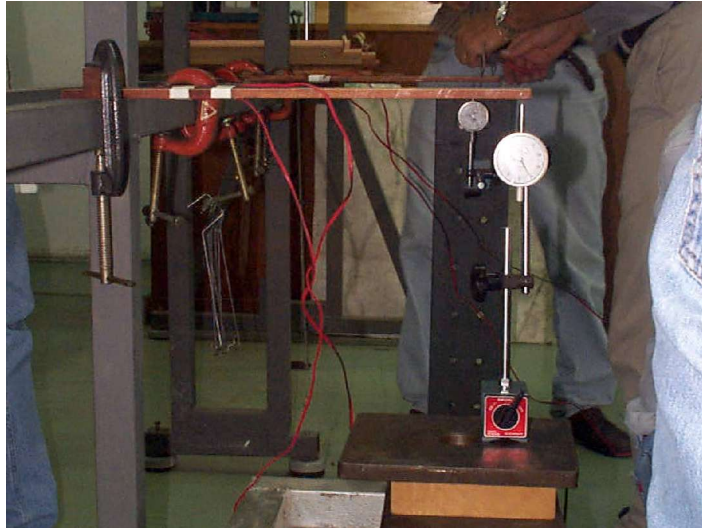
$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad \text{onde } y = \frac{h}{2} \quad (5)$$

Ao ser aplicada a carga P, ocorre um deslocamento vertical da extremidade da viga que é medido pelo transdutor mecânico de deslocamentos. Conhece-se, portanto, o valor experimental da flecha máxima. Este valor pode ser comparado com o determinado teoricamente.

Dessa forma pode-se confrontar os resultados teóricos e experimentais com o auxílio de um conjunto didático simples levado em sala de aula.

A Figura 5 ilustra a montagem deste conjunto didático.

Figura 5 O conjunto didático



Analogamente podem ser feitos vários outros conjuntos didáticos, como, por exemplo, ensaios de flexão de barras, como ilustrado na Figura 6. Neste exemplo, são demonstrados teoricamente o valor do momento fletor máximo, as tensões normais nas fibras externas e a linha elástica, com a flecha máxima. Estas deduções podem ser comprovadas experimentalmente também em um conjunto didático ao se instalar um extensômetro e um transdutor mecânico de deslocamentos no meio do vão da barra.

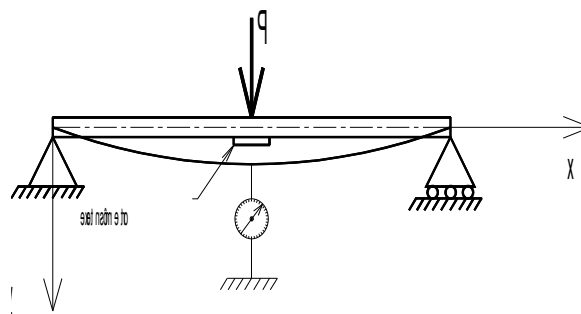


Figura 6 Barra simplesmente apoiada

Da teoria de flexão de barras, tem-se:

- Momento fletor:

$$M = \frac{P \cdot L}{4}$$

- Tensão normal (Hipótese de Bernouille): $s = \frac{M}{I} \cdot y$ onde $y = \frac{h}{2}$

- Flecha máxima: $v = \frac{P \cdot L^3}{48 EI}$

Com os valores experimentais de deformações (ϵ) lidos medidos pelo extensômetro, determina-se o momento fletor experimental.

O valor experimental da flecha máxima também pode ser conferido com o valor teórico.

Assim, diversos outros conjuntos didáticos podem ser montados para demonstrações experimentais das teorias apresentadas em salas de aula.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a sistemática do aprendizado foi afetada pelas modificações em vários dos aspectos do comportamento humano advindas dos avanços da tecnologia, principalmente pela diversidade das formas de comunicações e pela alta velocidade com que mensagens e imagens são transmitidas pela mídia. Essa rapidez com que as informações são disseminadas e o grande volume delas não permitem, ao estudante de hoje, absorvê-las da mesma forma como faziam as gerações anteriores.

Nessa mudança do modelo para o processo de ensino e aprendizagem conclui-se que não é conveniente utilizar-se apenas do método expositivo tradicional, sem interatividade, sem as imagens dos fatos comentados, sem o traçado de gráficos comparativos, sem o processamento de muitas informações.

A apresentação do comportamento experimental de estruturas em salas de aula certamente traz grandes contribuições para a formação de um bom engenheiro, facilitando o entendimento e a fixação dos conceitos teóricos além de permitir ao aluno a percepção das dificuldades inerentes à prática da Engenharia quando nem sempre os resultados teóricos se repetem na prática. Entender as hipóteses simplificadoras, as imperfeições dos modelos, os coeficientes de segurança é fundamental para o engenheiro.

Portanto, recomenda-se, nas escolas de engenharia, que o comportamento experimental de estruturas seja mostrado por meio dos conjuntos didáticos descritos. Com a ilustração dos conceitos e dos fenômenos físicos, a compreensão e a apreensão do conteúdo programático seriam facilitadas.

Finalizando pode-se afirmar que essa ligação entre os alunos de graduação e os laboratórios aumenta a motivação dos estudantes para a autonomia do aprendizado e permite um acoplamento e uma adesão maiores ao curso de Engenharia, conforme já dito por NAKAO (2003).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, C. **O lado direito do cérebro e sua exploração em aula.** Petrópolis, Vozes: 2001.

BOUJON, C. ; QUAIREAU, C. **Atenção e aproveitamento escolar.** São Paulo, Edições Loyola: 2000.

BRINGHENTI, I. **O ensino na Escola Politécnica da USP: fundamentos para o ensino de engenharia.** São Paulo, EPUSP: 1993.

GASPAR, R., NAKAO, O. S. **A importância da visualização dos efeitos dos esforços solicitantes em estruturas de concreto para os alunos de graduação de engenharia civil.** XXXI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Mendoza, 2004.

LINDENBERG-NETO, H.; ARÉVALO, L. A. T. **Using images to teach the beginnings of structural engineering.** International Conference on Engineering Education. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1998.

MACHADO, S. D. A .et al. **Educação Matemática**: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1999.

NAKAO, O. S.; OYAMADA, R. N.; ISHITANI, H. **A importância dos fundamentos da engenharia das estruturas na formação do engenheiro civil**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo: PEF/PCC EPUSP, 2003.

NAKAO, O. S.; LINDENBERG-NETO, H. **Didactic Improvement on a Course about Mechanics of Structures**. International Conference on Engineering Education. Oslo: EP Innovations, 2001.

NAKAO, O. S. **Participação de alunos de graduação de engenharia civil nas atividades de pesquisa e extensão**. XXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Rio de Janeiro: IME, 2003.

SABINS, G. M. **Structural modeling and experimental techniques**. New York, Prentice-Hall, 1983.

ABSTRAC

Some of the subjects developed in the graduation teaching in engineering present very abstract concepts that of related with Strength of Materials and Stability of the Structures.

Due to the abstract referred and, sometimes, of many mathematical equations, rejection attitudes as of indifference of some students are frequently observed.

Besides, the students today, belonging to the "civilization of the image", they prefer that the classes present a lot of images of the reality and rich illustrations in details. They are noticed reasoning difficulties and of imagination of the current generations that can be overcome with the visualization of real phenomena.

Graduation students rarely have the opportunity to see the behaviour of the structures in the own engineering schools as they make him the masters degree students that frequent research laboratories because nor all of the schools have laboratories.

To visualize these physical phenomena, that it would allow a faster and vigorous learning, they intends the assembly of a laboratory of demonstrations that they can be accomplished at the own classroom. The transport normal testing equipment to the classroom it is not viable but the assembly of small didactic groups is not impossible.

Therefore, the objective of this paper is the presentation of an applied methodology to illustrate the behaviour of structures in rooms of classes. They intend the assembly of small tests. Like this, it can be shown the efforts, stress and strain effects in structures of bars, to measure bending moments and to evaluate of deformations.

The presentation of the behaviour of structures in classrooms certainly will contribute to a better understanding of the important theoretical concepts.

Key-words: *Teaching, Stress and strain effects, Civil Engineering, Tests, Strength of Materials.*