

# UTILIZAÇÃO DE MODELOS QUALITATIVOS PARA PRÉ-AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE VIGAS E PILARES

## THE USE OF MODELS FOR QUALITATIVE PRE-ASSESSMENT OF THE BEHAVIOR OF BEAMS AND PILLARS

Bárbara Siqueira, [barbara.siqueira7@gmail.com](mailto:barbara.siqueira7@gmail.com)

Prof. Dr. Cesar Fabiano Fioriti

Prof. Dr. Fernando Sérgio Okimoto

Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente, SP

Submetido em 29/12/2016

Revisado em 25/01/2017

Aprovado em 10/02/2017

**Resumo:** O uso de modelos qualitativos como ferramenta de auxílio no processo de ensino-aprendizagem de estruturas é uma atividade que já vem sendo desenvolvida há algumas décadas. Diante disso, este trabalho teve como objetivo geral o aprimoramento de uma metodologia experimental alternativa para validar alguns tipos de modelos qualitativos, e que consiste basicamente de comparações utilizando imagens digitalizadas, desenvolvido por Oliveira (2008). Para isso foram realizados ensaios em modelos qualitativos de vigas e pilares, sendo que posteriormente esses ensaios foram comparados com os resultados obtidos a partir de simulações computacionais dos mesmos sistemas estruturais em software comercial. Os resultados comparados foram as deformadas dos sistemas estruturais sob carregamento previamente definido, em que tais resultados experimentais permitiram constatar que o comportamento dos modelos qualitativos utilizados é realmente similar ao comportamento de uma estrutura real.

**Palavras chave:** Modelos qualitativos. Maquete estrutural. Análise estrutural. Ensino.

**Abstract:** The use of qualitative models as a tool to aid in the teaching-learning process of structures is an activity that is already being developed some decades ago. In addition, the objective of this work was to line the improvement of a experimental methodology alternative to validate certain types of qualitative models, and that basically consists of comparisons using scanned images, developed by Oliveira (2008). For this were performed tests on models of quality of beams and pillars, and later these trials were compared with the results obtained from computer simulations of the same structural systems in commercial software. The results were compared were the deformed of structural systems under loading previously defined, in which such experimental results have

revealed that the behavior of the models of quality used is really similar to the behavior of a real structure.

**Keywords:** Qualitative models. Structural mockup. Structural analysis. Education.

## 1. Introdução

A história nos conta que a ideia de se utilizar modelos físicos é tão antiga quanto à vontade do homem de compreender os fenômenos da natureza. Segundo Hossdorf (1974) existem basicamente três formas de se compreender o verdadeiro comportamento de um fenômeno físico: pela observação direta do fenômeno, por meio da teoria e por meio de experimentos. Portanto, de forma geral, a realidade (protótipo) pode ser simulada tanto por teoria pura (modelo teórico) como também por experimentos (modelo físico).

Ao longo dos anos, o homem vem utilizando modelos, em diferentes setores, como meio de adquirir conhecimento. Isso se aplica não somente ao campo da engenharia, pois a princípio a maioria dos laboratórios, em qualquer área de conhecimento, utiliza modelos como simulação da realidade. Na medicina, por exemplo, os experimentos com ratos em laboratórios podem ser considerados testes como modelos, já que são adotados experimentos análogos à realidade como meio de adquirir conhecimento. Quando se dá uma caixa de peças de LEGO (brinquedo cujo conceito se baseia em partes que se encaixam, permitindo inúmeras combinações) para uma criança brincar, imagina-se que brincando com modelos em escala reduzida ela irá aprender e se preparar para os desafios da vida real. Na engenharia não é diferente, a principal finalidade dessas simulações, é que o arquiteto, o engenheiro e o construtor possam prever o comportamento de seus projetos sem que haja a necessidade de construí-los antes (HOSSDORF, 1974).

Experimentos com modelos estruturais em escala geométrica reduzida sempre desempenharam um papel importante no desenvolvimento e na evolução da engenharia estrutural, com diversas aplicações como na educação, concepção de projetos, pesquisas e no desenvolvimento de produtos.

A utilização adequada dos modelos intuitivos facilita a compreensão das aulas expositivas, de acordo com Schwark (1996), principalmente nas disciplinas

que compõem a área de estrutura. Mostrar a representação física dos conceitos teóricos proporciona maior velocidade de aprendizagem por parte dos alunos.

Pravia e Bordignon (2000) consideram interessante que o aluno tenha a oportunidade de aprender interagindo e refletindo. Segundo Polillo (1974), a experimentação, além de fácil, é o melhor guia da intuição. Nesse sentido, o modelo intuitivo poderá atuar como uma ferramenta auxiliar nas aulas da disciplina Sistemas Estruturais, pois terão um pouco mais de interatividade, despertando a curiosidade e estimulando os alunos a fazerem perguntas, a descobrirem semelhanças e diferenças, a criarem hipóteses e a chegarem às próprias soluções.

Segundo Nacarato (2005), o uso de materiais manipuláveis no ensino foi destacado pela primeira vez por Pestalozzi, no século XIX, ao defender que a educação deveria começar pela percepção de objetos concretos, com a realização de ações concretas e experimentações.

Para Fiorentini e Miorim (1993), na concepção empírico-ativista o aluno passa a ser considerado o centro do processo e os métodos de ensino – tendo como pressupostos a descoberta e o princípio de que “aprende-se a fazer fazendo” – se pautavam em atividades, valorizando a ação, a manipulação e a experimentação. O ensino seria baseado em atividades desencadeadas pelo uso de jogos, materiais manipuláveis e situações lúdicas e experimentais.

Enfim, a tentativa de demonstrar a importância didática do estudo qualitativo tanto das estruturas como de diversas outras disciplinas – como instrumento de avaliação, análise e aprimoramento de técnicas estruturais – esta no fato de que a capacidade de percepção será aprimorada, e o profissional será mais bem capacitado para o mercado.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral o aprimoramento de uma metodologia experimental alternativa para validar alguns tipos de modelos qualitativos e que consiste basicamente de comparações utilizando imagens digitalizadas, desenvolvido por Oliveira (2008). Para isso foram realizados ensaios em modelos qualitativos de vigas e pilares, sendo que posteriormente esses ensaios foram comparados com os resultados obtidos a partir de simulações computacionais dos mesmos sistemas estruturais em software comercial.

## 2. Metodologia

O trabalho envolveu atividades divididas em quatro etapas, esquematizadas na Figura 1 e descritas na sequência:

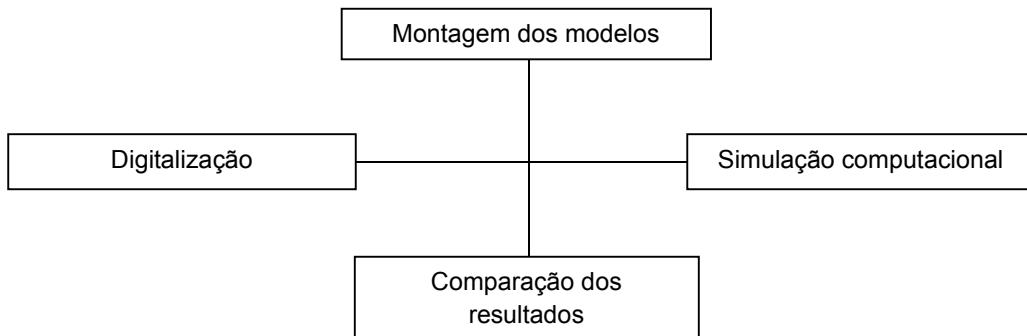


Figura 1 – Esquema das etapas executadas no desenvolvimento do trabalho.

- Etapa I: Processo de montagem dos modelos qualitativos, em que foi utilizada espuma com seção transversal quadrada, além de cola para fixação de todas as partes. Os materiais constituintes dos modelos foram, basicamente, espuma, bolas de isopor, cola e madeira. Também foram utilizados alguns artifícios como componentes dos modelos produzidos, trata de acessórios que serviram como elementos rígidos para a conexão/ancoragem das peças de ligação quando se fez necessário. Os modelos qualitativos foram montados conforme a Tabela 1;

Tabela 1 – Tipos de modelos qualitativos utilizados no trabalho.

| Sistemas estruturais | Características dos modelos qualitativos                              |
|----------------------|---|
| Vigas                | Biapoiada com carga vertical concentrada no meio do vão               |
|                      | Engastada e apoiada com carga vertical concentrada no meio do vão     |
|                      | Biengastada com carga vertical concentrada no meio do vão             |
|                      | Engastada e livre com carga vertical concentrada na extremidade livre |
| Pilares              | Biapoiado com carga axial de compressão                               |
|                      | Engastado e apoiado com carga axial de compressão                     |
|                      | Biengastado com carga axial de compressão                             |
|                      | Engastado e livre com carga axial de compressão                       |

- Etapa II: Digitalização das imagens, em que foi utilizado um aparato instrumental simples (Figura 2) composto de uma câmera digital acoplada em tripé. Com o intuito de melhorar a qualidade das imagens, foi utilizado um fundo de cor preta para aumentar o contraste com as peças dos modelos qualitativos e eliminar as sobras geradas pelas estruturas sobre a base e o fundo. Portanto, todo manuseio dos modelos, incluindo a aplicação do carregamento, foi realizado manualmente. Nesta etapa também foi feita a preparação da instrumentação utilizada e a digitalização das imagens dos modelos. Após a montagem dos modelos, foram aplicadas forças na direção desejada gerando as estruturas deformadas. As imagens foram digitalizadas para posterior avaliação e comparação com a simulação computacional;



Figura 2 – Aparato instrumental e materiais utilizados na montagem dos modelos qualitativos.

- Etapa III: Simulação computacional em que foram feitas a modelagem e a simulação do mesmo sistema estrutural no software SAP2000. Com auxílio deste programa foi possível simular estruturas com comportamentos lineares através de análises estáticas. A partir do programa foi gerada uma imagem da deformada de cada estrutura modelada. Com o objetivo de simplificar a simulação computacional e aproximá-la ao máximo das maquetes estruturais, foi feita a opção por utilizar uma única seção transversal, quadrada, para todos os

sistemas estruturais. É valido ressaltar, com relação ao sistema estrutural pilar, que por ser o objetivo didático deste trabalho ilustrar o comportamento de pilares sofrendo o efeito de flambagem, e em função dos softwares disponíveis não terem essa capacidade de simular e de compreender tal fenômeno, foi então introduzida uma carga horizontal ou momento de 2<sup>a</sup> ordem simulando exatamente o comportamento de flambagem do sistema em questão, atendendo assim, a um dos objetivos propostos;

- Etapa IV: Comparação dos resultados a partir das imagens digitalizadas dos modelos qualitativos e os obtidos pelos modelos computacionais. Para garantir uma melhor visualização dos resultados digitalizados, as imagens correspondentes de cada sistema estrutural (viga e pilares) foram colocadas lado a lado. Esta técnica de apresentação permitiu a visualização das duas imagens isoladamente, estabelecendo uma melhor compreensão e comparação dos resultados.

### 3. Resultados e análise

A comparação dos resultados e consequente análise foram realizadas a partir das imagens entre os resultados obtidos pelos modelos qualitativos e os obtidos pelos modelos computacionais.

#### 3.1. Modelos de vigas

- Viga biapoiada (Figura 3):

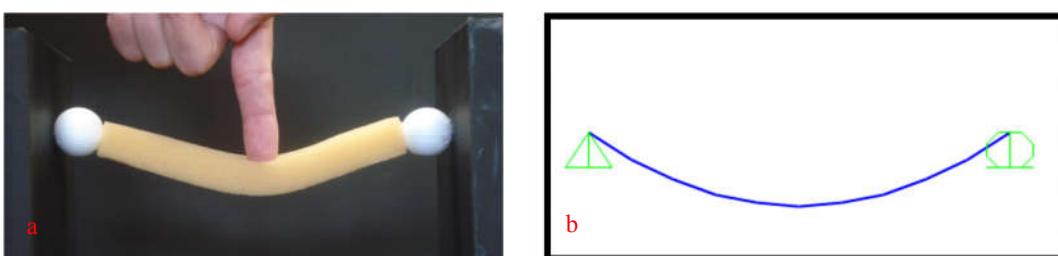


Figura 3 – Viga biapoiada: a) maquete; b) simulação computacional.

A deformada da viga biapoiada apresentada pela maquete estrutural apresenta a mesma configuração que a simulação computacional, o que pode ser verificado na Figura 3, onde os eixos deformados coincidem ao longo de todo o comprimento das vigas em análise. Tal fato é facilmente notado principalmente

através das flechas geradas, estas, que já começam a se deformar a partir das extremidades das vigas devido à vinculação das mesmas, ou seja, por se tratar de uma viga biapoiada, e por isso apresentar um apoio móvel – que é capaz de impedir o movimento do ponto vinculado do corpo numa direção pré-determinada –, e outro apoio fixo – que impede o movimento em todas as direções, permitindo somente a rotação dos elementos –, a viga fica mais suscetível a deformação.

- Viga apoiada e engastada (Figura 4):

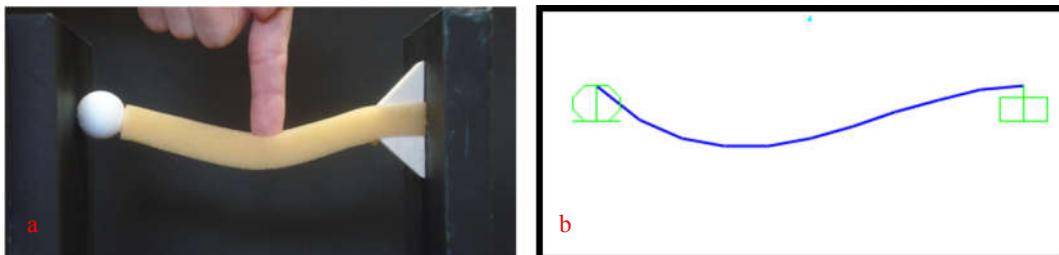


Figura 4 – Viga apoiada e engastada: a) maquete; b) simulação computacional.

Neste caso podemos mais uma vez identificar a similaridade das deformações observando a Figura 4, onde os eixos coincidem ao longo do comprimento das vigas. Por esta ser uma viga apoiada e engastada, podemos interpretar e analisar sua deformação através dos mesmos motivos apresentados anteriormente com a viga biapoiada. Entretanto, as vinculações do elemento em questão – um apoio móvel e um engaste, este último, que é capaz de impedir qualquer movimento do ponto vinculado do corpo e o movimento de rotação do corpo em relação a esse ponto – são diferentes, o que permite verificar que a deformação é mais acentuada quanto maior sua proximidade com o apoio móvel, enquanto que a proximidade com o engaste minimiza a deformação do sistema, por isso esta é a configuração de tal deformada.

- Viga biengastada (Figura 5):

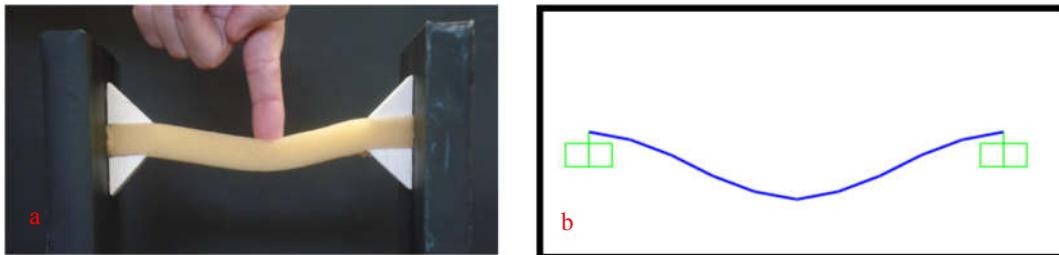


Figura 5 – Viga biengastada: a) maquete; b) simulação computacional.

A viga biengastada é caracterizada por apresentar o engaste nas suas vinculações. Como já mencionado, o engaste minimiza as deformações de um sistema estrutural, por isso, a viga apresenta uma menor deformação quando comparada com a viga biapoiada, por exemplo. A flecha desse sistema é mais acentuada no “meio” da viga, enquanto que nas extremidades a deformação é minimizada devido aos engastes. Todo esse comportamento pode ser verificado tanto através da maquete estrutural (Figura 5a), quanto pela simulação computacional (Figura 5b). Com isso, é possível observar a similaridade e eficácia dos modelos apresentados.

- Viga em balanço (Figura 6):

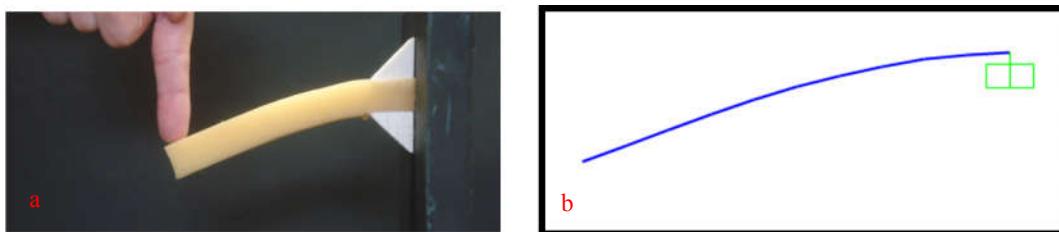


Figura 6 – Viga em balanço: a) maquete; b) simulação computacional.

Podemos verificar que a deformação da maquete estrutural (Figura 6a) se assemelha muito com a simulação computacional (Figura 6b). O tipo de vinculação que este sistema implica, permite que quanto maior for a proximidade com o bordo livre, mais acentuada é a deformação, em contrapartida, o posicionamento mais próximo ao engaste diminui a mesma.

### 3.2. Modelos de pilares

- Pilar biapoiado (Figura 7):

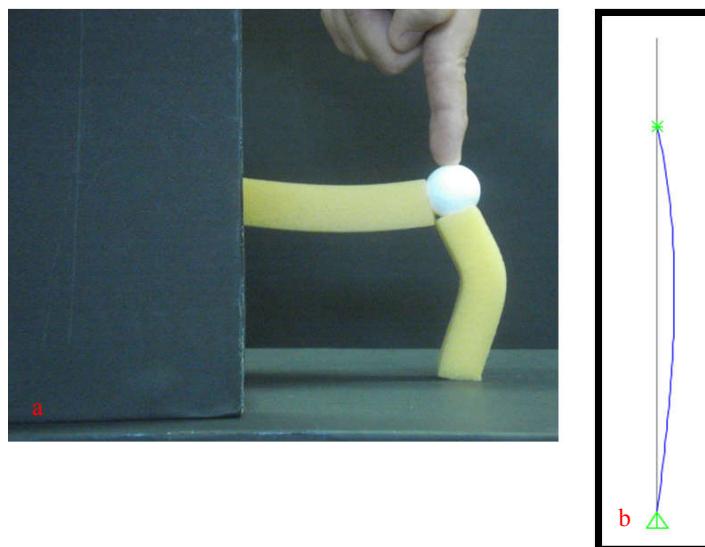


Figura 7 – Pilar biapoiado: a) maquete; b) simulação computacional.

A deformada do pilar biapoiado apresentado pela maquete estrutural apresenta a mesma configuração que a simulação computacional. Isto é facilmente verificado quando observamos a Figura 7, onde os eixos deformados coincidem ao longo de todo o comprimento dos pilares em análise. Este fato é percebido principalmente através das flambagens ocasionadas. Tal fenômeno começa a se deformar a partir das extremidades dos pilares devido à vinculação dos mesmos, ou seja, o pilar em questão apresenta um apoio móvel e outro apoio fixo, sendo assim, fica mais suscetível a deformação. A compressão também pode ser nitidamente observada com a diminuição do comprimento do pilar.

- Pilar engastado e apoiado (Figura 8):

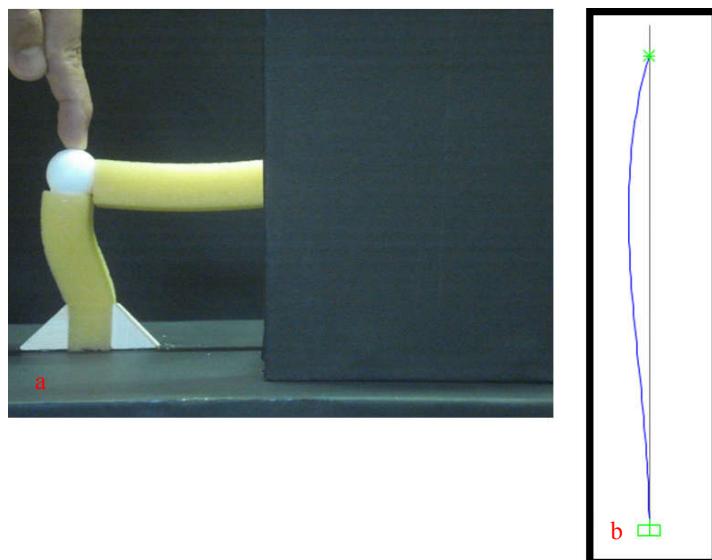


Figura 8 – Pilar engastado e apoiado: a) maquete; b) simulação computacional.

É possível identificar a similaridade das deformações quando observamos a Figura 8, onde os eixos também coincidem ao longo do comprimento dos pilares. Por se tratar de um pilar engastado e apoiado, podemos analisar sua deformação através dos mesmos motivos apresentados anteriormente com o pilar biapoiado. Entretanto, as vinculações do elemento em questão – um apoio móvel e um engaste – são diferentes, o que nos permite verificar que a deformação é mais acentuada à medida que se aproxima do apoio móvel, enquanto que a proximidade com o engaste minimiza a deformação deste sistema estrutural. Outro fator a ser observado é que por ser um apoio móvel na extremidade superior dos pilares, podemos observar o deslocamento dos mesmos devido à força de compressão neles aplicadas.

- Pilar biengastado (Figura 9):

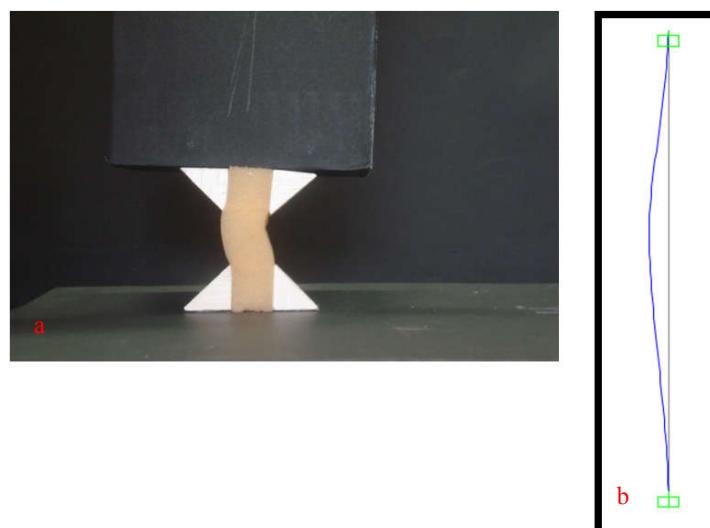


Figura 9 – Pilar biengastado: a) maquete; b) simulação computacional.

O pilar biengastado apresenta uma menor deformação quando comparado ao pilar biapoiado e ao pilar com apoio e engaste. O fenômeno da flambagem gerado neste caso é mais acentuado no “meio” do pilar, enquanto que nas extremidades a deformação é minimizada devido à presença dos engastes. A Figura 9 demonstra o comportamento dos pilares biengastados após a aplicação de carga. Pode ser notado que neste modelo de pilar não ocorre deslocamento pela compressão, fato este mais uma vez ocasionado pelo processo de vinculação. Com isso, é possível observar a similaridade e eficácia dos modelos apresentados.

- Pilar engastado e livre (Figura 10):

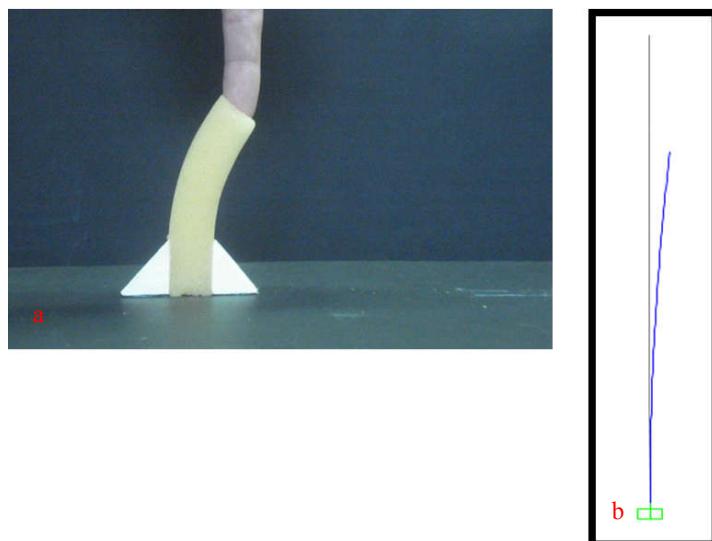


Figura 10 – Pilar engastado e livre: a) maquete; b) simulação computacional.

Podemos verificar que a deformação da maquete estrutural da Figura 10a se assemelha muito com a simulação computacional da Figura 10b. O tipo de vinculação que este modelo de pilar implica, permite que quanto maior for a proximidade com a extremidade livre, mais acentuada é a deformação, em contrapartida, o posicionamento mais próximo ao vínculo engaste diminui a mesma. Também pode ser notado o efeito da compressão nos pilares em ambos os modelos.

#### 4. Importância do trabalho para os cursos de arquitetura

Na abordagem construtivista – uma das correntes teóricas empenhadas em explicar como a inteligência humana se desenvolve partindo do princípio de que o desenvolvimento da inteligência é determinado pelas ações mútuas entre o indivíduo e o meio –, existem basicamente três protagonistas: o aluno, o professor e o meio social. A utilização dessa abordagem ao ensino de estruturas para os cursos de arquitetura, ou até mesmo de engenharia, implica criar condições e situações que levem o aluno a descrever, executar, refletir e depurar suas ideias. Assim, a maior alteração deve ser com relação ao papel do professor, que executa a descrição da resolução do problema e fornece ao aluno elementos para o desenvolvimento de suas ideias.

O aluno deve descrever o seu projeto e implementá-lo de modo que o resultado possa ser utilizado em um processo de reflexão sobre o mesmo e, consequentemente, sobre os conhecimentos envolvidos no projeto.

Sendo assim, o ensino em sala de aula deve ser complementado pela implementação de propostas práticas, através de metodologias dinâmicas como as que vêm sendo apresentadas por este projeto de iniciação científica.

Os cursos devem criar oportunidades para o aluno fazer arquitetura e/ou engenharia e não ser ensinado sobre arquitetura ou engenharia. Desde o início, o curso deve oferecer oportunidades para que o aluno crie e tenha autonomia para definir e implementar projetos, como acontece no dia-a-dia do arquiteto e/ou do engenheiro.

A implementação de projetos semelhantes ao desenvolvido por esta pesquisa, dever propiciar ao aluno o desenvolvimento do pensamento racional, ou seja, aprender a buscar as informações necessárias para que esta prática aconteça (aprender a aprender); ser crítico em relação aos resultados obtidos e desenvolver a noção do processo de depuração de ideias e ações como o motor propulsor da aprendizagem.

Um projeto implementado pelo aluno pode ser desde uma atividade de execução de modelos estruturais como feito nesta pesquisa, até a montagem de um objeto real. É fundamental que esta prática aconteça, que seja de interesse do aluno e que seja visto como um desafio dosado, segundo as suas possibilidades. Assim, o professor tem um importante papel na definição dessas metodologias práticas.

A função mais importante do professor então, não é, simplesmente, formar profissionais competentes, mas sim pessoas dotadas de pensamentos livres que possam criar, evoluir e serem capazes de intervir e modificar a realidade. Nesse processo de ensino/aprendizagem, deve existir o incentivo a curiosidade e o interesse do aluno, principalmente através dessas metodologias práticas e/ou tecnológicas.

Os alunos de arquitetura e engenharia, normalmente gostam de matérias técnicas, pois sabem que são extremamente necessárias sua formação. Sentem, porém, muitas vezes, dificuldades em entender essas

disciplinas porque as informações sobre os assuntos são transmitidas de maneira totalmente expositiva, sem qualquer entrosamento com a realidade.

A memória visual do ser humano, é a que mais predomina, dentre os atributos associados inteligência, razão pela qual, os modelos didáticos e dinâmicos para o ensino de estruturas são fundamentais para que os conceitos que os envolvem, sejam mais bem compreendidos e fixados. A consciência de que não existem receitas didáticas eficientes e acabadas, pois cada aula apresenta suas próprias características fazem com que o professor escolha, não uma, mas várias técnicas, mesclando-as de maneira que seja atendido o principal objetivo do ensino que a facilita o da aprendizagem. Assim, ocorreu a confirmação que o método proposto ao longo deste trabalho atingiu seus objetivos. Foi respondida então, a questão de como formar o conhecimento estrutural dos cursos através do processo de “fazer arquitetura e/ou engenharia”, ao invés de “ensinar sobre arquitetura e engenharia”. Para que isso seja possível é necessária a criação de um ambiente de aprendizagem baseado na resolução de projetos e, portanto, na aplicação de metodologias como as apresentadas ao longo deste trabalho.

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam a eficiência dos modelos qualitativos e de maquetes virtuais para a pré-avaliação do comportamento de sistemas estruturais. Os modelos qualitativos mostraram-se bastante eficientes quando comparados aos modelos computacionais elaborados, pois permitiram a avaliação do comportamento de diferentes sistemas estruturais (pilares e vigas) sob diversos aspectos, levando-se em conta conceitos de estabilidade estrutural, visualização dos deslocamentos e das deformadas, comportamento quanto ao tipo de carregamento e a influência da forma e do arranjo dos elementos. Todos os modelos qualitativos elaborados possuem praticidade de montagem e manuseio, tanto manualmente, quanto na utilização do software, além de apresentarem fácil compreensão do seu comportamento, e assim, nos permite vivenciar as relações do sistema estrutural com a natureza e seus funcionamentos. Este trabalho conseguiu unir as três metodologias de ensino: a teoria, a prática e a alta tecnologia, alcançando o

objetivo de levar o aluno a desenvolver sua sensibilidade, visando à compreensão do comportamento das estruturas, cultivar sua imaginação criadora, tendo como guia a intuição e principalmente a sua autoconfiança, ao comprovar os resultados de forma mais precisa possível com os softwares oferecidos pela mais alta tecnologia. Sendo assim, unimos o passado intuitivo e sensível do profissional, ao presente teorizado pelo mesmo e ao futuro tecnológico de precisão. Esse entendimento aproxima a grandeza dos fenômenos manifestados à percepção dos sentidos humanos, uma vez que nas estruturas reais, em geral, nossos meios de percepção são incapazes de registrar estes valores.

## 6. Agradecimento

A FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de iniciação científica a autora.

## 7. Referências

- FIORENTINI, D.; MIORIM, M. A. **Uma reflexão sobre o uso de materiais concretos e jogos no ensino da matemática**. Boletim SBEM, São Paulo, ano 4, nº 7, 1993.
- HOSSDORF, H. **Model analysis of structures**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1974.
- NACARATO, A. M. **Eu trabalho primeiro no concreto**. Revista de Educação Matemática Publicação da Sociedade Brasileira de Educação Matemática, São Paulo, v. 9, nº 9 e 10, p. 1- 6, 2005.
- OLIVEIRA, M. S. de. **Modelo estrutural para pré avaliação do comportamento de estruturas metálicas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.
- POLILLO, A. **[Sem título]**. In: Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura, São Paulo. Anais... São Paulo: Ed. FAU USP, 1974. Organizado pela Associação Brasileira de Escolas de Arquitetura
- PRAVIA, Z. M. C.; BORDIGNON, R. **Modelos intuitivos para ensino de estabilidade de estruturas**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, Minas Gerais, 2000.
- SCHWARK, M. P. **Sugestões para um curso intuitivo de teoria das estruturas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.