

INTRODUZINDO UM PROJETO NA PRIMEIRA DISCIPLINA DE MECÂNICA DAS ESTRUTURAS: A OBSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS DO COTIDIANO

Henrique Lindenberg Neto – henlneto@usp.br

Martin P. Schwark – dir@moura-schwark.com.br

Renato I. Teramoto – teramoto@osite.com.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Laboratório de Mecânica Computacional
Caixa Postal 61548, CEP 05424-970, São Paulo, SP

Resumo. *A fim de tornar a Mecânica das Estruturas mais atraente e mais próxima dos alunos, foi introduzido um projeto de observação de estruturas na primeira disciplina de estruturas do curso de engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Este projeto consistiu no exame de dez estruturas escolhidas pelos alunos – duas estruturas da natureza, duas estruturas de cobertura, duas treliças, duas estruturas brasileiras com importância histórica e duas estruturas à escolha dos alunos –, que as fotografaram e as analisaram. Ao final do semestre, solicitou-se aos alunos que avaliassem a experiência respondendo a um questionário, em que apontaram os principais pontos positivos e negativos do projeto. Tanto na opinião dos professores como na dos alunos o projeto foi muito bem sucedido, tendo cumprido seus objetivos ao mostrar aos alunos a importância que as estruturas têm em nossas vidas e ao mostrar a relação entre os modelos matemáticos vistos na sala de aula e as estruturas do mundo real. A avaliação feita indicou modificações a serem introduzidas no projeto para torná-lo mais eficiente, e que já foram incorporadas no projeto proposto neste ano. Este artigo apresenta os detalhes dessa experiência, de sua avaliação e de seu aprimoramento.*

Palavras-chave: *Ensino de engenharia de estruturas, Mecânica das estruturas, Metodologias de ensino, Observação de estruturas*

1. INTRODUÇÃO

Um grande desafio hoje enfrentado pelos professores de Mecânica das Estruturas é como tornar esta matéria mais atraente e mais próxima dos alunos, e neles despertar interesse pelo assunto e desejo de conhecê-lo e estudá-lo.

Há vários anos, os professores da disciplina PEF-124 “Introdução à Mecânica das Estruturas”, a primeira disciplina de estruturas do curso de engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ministrada aos alunos do 4º semestre do curso, vêm procurando maneiras de vencer este desafio.

Uma importante forma de aproximar os alunos das estruturas é eles descobrirem o papel fundamental que elas têm nas nossas vidas e na vida de nossa sociedade, perceberem que não apenas as construções, mas também as máquinas, aviões, navios, móveis e mesmo os vegetais e animais de nosso cotidiano possuem uma estrutura. Uma maneira muito importante de tornar a Mecânica das Estruturas mais atraente e mais dotada de significado é mostrar aos alunos a relação entre os modelos matemáticos examinados nas aulas e as estruturas reais, mostrar que de fato estes modelos matemáticos são utilizados no projeto das estruturas que nos cercam.

Com estes objetivos, já há alguns anos vêm sendo utilizadas nas aulas da disciplina transparências apresentando o conceito de estrutura, a evolução histórica das estruturas e a relação entre os modelos matemáticos examinados nas aulas e as estruturas reais; um artigo relatando esta experiência foi escrito por Lindenbergo Netto e Arévalo (1998).

Uma outra maneira de promover esta ligação dos alunos com as estruturas são as visitas a edifícios em construção ou em funcionamento, apresentando-lhes diretamente as relações entre os modelos matemáticos e a construção real. Um edifício que tem sido visitado pelos alunos da disciplina é o do MASP – Museu de Arte de São Paulo, que, além de ser uma obra notável tanto do ponto de vista de arquitetura como de engenharia, tem toda sua estrutura aparente e facilmente observável.

A fim de promover ainda mais este contato dos alunos com as estruturas de nosso dia-a-dia, em 1999 uma nova experiência foi realizada na disciplina PEF-124 “Introdução à Mecânica das Estruturas”: a realização pelos alunos de um projeto de observação de estruturas. O que se desejava ao introduzir este projeto na disciplina era que, além do contato por meio das transparências vistas nas aulas e das visitas realizadas, os alunos pudessem ter um contato pessoal e individual com as estruturas que nos cercam.

2. O PROJETO

2.1 Descrição do projeto

O projeto proposto consistiu na análise de dez estruturas escolhidas pelos próprios alunos, devendo ser:

- Duas estruturas da natureza;
- Duas estruturas de cobertura;
- Duas treliças;
- Duas estruturas brasileiras com importância histórica;
- Duas estruturas quaisquer à escolha dos alunos.

Entre estas estruturas, deveria haver pelo menos uma de madeira, uma metálica e uma de concreto.

A análise das estruturas deveria conter:

- Fotografias da estrutura e de seus detalhes, tiradas pelos próprios alunos;
- Breve descrição da estrutura, com informações sobre:
 - O sistema estrutural;
 - Materiais utilizados;
 - Dimensões;
 - Localização da estrutura;
 - Data da construção;
 - Arquiteto e engenheiro de estruturas;
 - Fatos interessantes relativos à obra.

Eventualmente, algumas destas informações – tais como data da construção, arquiteto, engenheiro de estruturas, etc. –, caso fossem de difícil obtenção, poderiam ser omitidas.

Um relatório com as fotografias e as análises das dez estruturas escolhidas deveria ser entregue ao final do semestre.

O peso da nota do projeto na nota de avaliação final da disciplina foi de 10%, as outras notas sendo as de três provas escritas realizadas no decorrer do semestre.

2.2 Objetivos do projeto

Além do objetivo maior de levar os alunos a terem contato direto e pessoal com as estruturas de seu cotidiano e a apreenderem a importância das estruturas em nossas vidas, o projeto tinha como objetivos mais específicos:

- Estimular os alunos a observarem os objetos, máquinas e construções que nos cercam e neles identificarem sua estrutura;
- Estimular os alunos a procurarem compreender como funcionam as estruturas;
- Fazer os alunos perceberem que os modelos matemáticos examinados nas aulas são de fato ligados às estruturas reais;
- Estimular os alunos a identificarem estruturas brasileiras de importância histórica;
- Estimular os alunos a realizarem pesquisas para obter informações técnicas sobre estruturas;
- Estimular o trabalho em grupo;
- Estimular a redação de relatórios técnicos.

3. AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A fim de avaliar o projeto que pela primeira vez havia sido proposto na disciplina, solicitou-se aos alunos que respondessem a um questionário com várias perguntas sobre o projeto.

Das perguntas feitas, seis deveriam ser respondidas com a atribuição de uma nota de 0 a 10.

Os 95 alunos que avaliaram o projeto atribuíram as seguintes notas a estas perguntas:

1. Os objetivos do projeto foram atingidos? (os objetivos enumerados foram os apresentados na subseção 2.2, com exceção do terceiro, “Fazer os alunos perceberem que os modelos matemáticos examinados nas aulas são de fato ligados às estruturas reais”)
0 (positivamente não) – 10 (positivamente sim)
Avaliação: média 8,36; desvio padrão 1,31
2. Para que os objetivos do projeto fossem atingidos, a análise das estruturas abaixo foi:
0 (nada importante) – 10 (muito importante)
 - Estruturas da natureza
Avaliação: média 7,01; desvio padrão 2,34
 - Estruturas de cobertura
Avaliação: média 8,88; desvio padrão 1,44
 - Treliças
Avaliação: média 9,19; desvio padrão 1,20
 - Estruturas brasileiras com importância histórica
Avaliação: média 8,39; desvio padrão 1,55
 - Estruturas à escolha dos alunos
Avaliação: média 8,66; desvio padrão 1,81
3. A análise das estruturas abaixo me deu:

0 (nenhuma satisfação) – 10 (muita satisfação)

- Estruturas da natureza
Avaliação: média 6,90; desvio padrão 2,45
- Estruturas de cobertura
Avaliação: média 8,51; desvio padrão 1,62
- Treliças
Avaliação: média 8,88; desvio padrão 1,59
- Estruturas brasileiras com importância histórica
Avaliação: média 8,32; desvio padrão 1,93
- Estruturas à escolha dos alunos
Avaliação: média 8,64; desvio padrão 2,08

4. O número de estruturas analisadas foi:
0 (muito pequeno) – 10 (muito grande)
Avaliação: média 5,66; desvio padrão 1,73
5. Minha opinião global sobre o projeto é:
0 (muito ruim) – 10 (muito boa)
Avaliação: média 8,47; desvio padrão 1,43
6. Você acha que se deve continuar a dar este projeto?
0 (positivamente não) – 10 (positivamente sim)
Avaliação: média 9,39; desvio padrão 1,36

Além destas seis perguntas, completavam o questionário três itens para respostas discursivas:

7. Em sua opinião, quais foram as maiores qualidades do projeto?
8. Em sua opinião, quais foram os maiores defeitos do projeto?
9. Comentários e sugestões

As respostas às seis primeiras questões mostram que, na opinião dos alunos, o projeto foi muito bem sucedido: eles acham que os objetivos do projeto foram alcançados, têm uma boa opinião sobre ele, e positivamente acham que deve ser continuado.

Com relação à questão 7, sobre as maiores qualidades do projeto, sem dúvida os alunos consideraram que foi o estímulo à observação e à análise das estruturas que nos cercam e o desenvolvimento de uma visão crítica sobre as estruturas (a metade dos alunos citou esta como a maior qualidade do projeto). Algumas das respostas à pergunta 7 foram: “Estímulo de parar e olhar a nossa volta para perceber o que existe e o que acontece, já que este tipo de atitude está muito restrito nos últimos anos”; “Análise de estruturas importantes para nossa formação e despertar o interesse pelas estruturas existentes na cidade”; “Possibilitar o aluno entender que está cercado por estruturas interessantíssimas e estimular a análise de estruturas novas que forem vistas”; “Despertar o interesse dos alunos em observar estruturas presentes em nossa vida cotidiana”; “Desenvolveu uma visão crítica das estruturas”; “Desenvolveu o raciocínio crítico”; “Fez com que nós alunos pensássemos a respeito das estruturas e como é cada uma delas”.

A segunda qualidade mais citada pelos alunos foi o projeto ter propiciado uma ligação entre a teoria e a prática (mencionada por 18% dos alunos). Algumas das suas respostas foram: “Ver a parte prática do que aprendemos nas aulas. Foi muito interessante e diferente sair com uma máquina para procurar as melhores estruturas e analisá-las. Aumentou o interesse pela matéria”; “Colocar os alunos em contato com as estruturas, e poder aplicar os conceitos desenvolvidos na sala de aula”; “A integração teoria-prática”; “Verificar na prática as estruturas estudadas na sala de aula”; “A identificação das estruturas vistas em aula na prática”; “Oportunidade de ver na prática a teoria”; “Estimulou o aprendizado da disciplina, pois vimos a aplicação prática dos modelos matemáticos e métodos físicos”. Mostrar a relação entre os modelos matemáticos e as estruturas reais era um dos principais objetivos do projeto,

e foi muito gratificante verificar que o projeto de fato auxiliou os alunos a enxergarem esta relação.

A terceira qualidade do projeto mais citada pelos alunos foi a liberdade que tiveram para escolher as estruturas analisadas, “Liberdade de escolha que nos proporcionou um interesse, satisfação e estímulo não visto em outros trabalhos”, como disse um deles.

Quanto aos maiores defeitos do projeto, os três mais citados pelos alunos foram: dificuldades para obter dados sobre as estruturas analisadas (24% dos alunos), falta de conhecimentos sobre as estruturas analisadas (19% dos alunos) e falta de orientação sobre o projeto por parte dos professores da disciplina (18% dos alunos).

Após a realização do projeto e sua correção, reconheceu-se que seu principal defeito foi na verdade a falta de uma maior orientação e acompanhamento por parte dos professores da disciplina. Quando o projeto foi proposto no início do semestre, os seus objetivos não foram explicitados aos alunos, e não houve um acompanhamento de sua execução. Esta falta de uma orientação maior levou os alunos a buscarem fazer muito mais do que se desejava: procuraram obter dados muito completos sobre as estruturas analisadas e procuraram compreender e explicar perfeitamente o funcionamento destas estruturas. Não era isto que se desejava: esperava-se que eles apresentassem os dados que pudessem obter sem muita dificuldade, omitindo aqueles que fossem de difícil obtenção; quanto ao comportamento das estruturas, esperava-se que eles refletissem sobre as estruturas, pensassem a respeito de como deve ser seu funcionamento, e que apresentassem sua própria versão deste funcionamento, não se esperando que ela viesse a estar sempre correta. A intenção era de estimular os alunos a observarem as estruturas, e procurarem entender como elas funcionam, não que explicassem perfeitamente o seu comportamento, o que certamente está acima da capacidade e do conhecimento destes alunos da primeira disciplina de estruturas do curso de engenharia civil. Vê-se agora que foi grande a ingenuidade dos professores ao imaginarem que os alunos poderiam prescindir de uma melhor orientação e de acompanhamento durante a execução do projeto.

Apesar desta falha, os alunos realizaram projetos muito bons, tendo se esmerado muito na escolha e na análise das estruturas. Ao lê-los, foi possível perceber que vários alunos tiveram um prazer muito grande em realizá-lo, tendo caprichado muito em sua execução e tendo feito muito mais do que o necessário. Alguns dos projetos surpreenderam pela qualidade e quantidade dos dados obtidos sobre as estruturas e pela análise muito completa de seu funcionamento. A maioria das fotografias tiradas das estruturas era de ótima qualidade, tanto do ponto de vista fotográfico como do ponto de vista de mostrar bem as estruturas e seus detalhes; foram feitas transparências de muitas destas fotografias para uso nas aulas da disciplina “Introdução à Mecânica das Estruturas”.

Um ponto que se deve comentar foi a dificuldade encontrada na correção dos projetos, decorrente de seu caráter bastante livre e aberto, muito distinto do caráter das provas escritas da disciplina, em que os alunos resolvem questões numéricas com solução única. Como os projetos foram corrigidos por três professores, não foi fácil estabelecer um critério que levasse a correções homogêneas.

Atribuiu-se ao projeto uma nota de 0 a 10, com o seguinte critério:

- Escolha das estruturas (2,0 pontos)
Neste item avaliou-se se as estruturas examinadas correspondiam formalmente ao que havia sido solicitado: duas estruturas da natureza, duas estruturas de cobertura, duas treliças, duas estruturas brasileiras de importância histórica e duas estruturas à escolha dos alunos, havendo entre elas pelo menos uma estrutura de madeira, uma metálica e uma de concreto;
- Análise das estruturas (5,0 pontos)
Neste item foram avaliadas:

- As fotografias, do ponto de vista da sua capacidade de mostrarem as estruturas e seus detalhes (1,5 pontos);
- A pesquisa realizada, tanto na obtenção dos dados sobre as estruturas como de outros documentos além das fotografias tiradas pelos próprios alunos (2,0 pontos);
- O comentário dos alunos sobre as estruturas, verificando-se o esforço realizado no sentido de compreenderem as estruturas e seu funcionamento (1,5 pontos).
- Apresentação do projeto (3,0 pontos)
Neste item foram avaliadas a qualidade das fotografias e a qualidade da apresentação do relatório.

Apesar de se ter estabelecido um critério de correção com vistas a se obter uma homogeneidade nas avaliações, como este critério ainda tinha um caráter subjetivo, a homogeneidade pretendida não foi totalmente alcançada, tendo havido alguma diferença nas notas atribuídas pelos três professores.

Um outro comentário que deve ser feito é com relação a se pedir que as fotografias sejam tiradas pelos próprios alunos. A correção dos projetos mostrou que é muito importante que as fotografias sejam tiradas por eles mesmos, e não que sejam obtidas em livros e revistas ou na internet. Isto os obriga a conhecerem pessoalmente as estruturas, a examiná-las, a analisá-las. Verificou-se ao corrigir os projetos que a internet é hoje a principal fonte de consulta dos alunos e que, caso não se exigisse que as estruturas fossem fotografadas por eles próprios, muitos realizaram todo o projeto apenas com base no material obtido na internet, inclusive as fotografias. É claro, entretanto, que as pesquisas feitas na internet, em livros e periódicos são excelentes e fundamentais para a obtenção de informações complementares às encontradas pelos alunos ao observarem pessoalmente as estruturas.

Como tanto na opinião dos professores como dos alunos o projeto foi muito bem sucedido, decidiu-se dá-lo novamente no primeiro semestre de 2000, em que a disciplina foi novamente ministrada. O projeto foi então modificado e aprimorado, a fim de evitar que os problemas verificados na primeira experiência voltassem a ocorrer.

Ao contrário do que aconteceu no primeiro projeto, no proposto em 2000 os seus objetivos foram explicitamente apresentados.

Outra modificação do novo projeto foi com relação às estruturas a serem examinadas. No projeto realizado em 1999, ficou muito claro que as estruturas que mais agradaram aos alunos e que mais contribuíram para que os objetivos do projeto fossem alcançados foram as estruturas semelhantes às examinadas nas aulas da disciplina. Por exemplo, por serem muito distantes das estruturas reticuladas vistas nas aulas, os alunos tiveram grande dificuldade para compreender o funcionamento das estruturas da natureza que analisaram: árvores, grutas, ninhos de joão-de-barro, formigueiros, cupinzeiros, etc. Como já se comentou, não se esperava que eles viessem a entender perfeitamente o comportamento destas estruturas, e eles não ficaram satisfeitos com o fato de não terem conseguido compreendê-lo.

Por esta razão, no projeto de 2000 decidiu-se propor a análise de oito estruturas mais próximas daquelas vistas durante as aulas:

- Um guarda-chuva;
- Um móvel;
- Um guindaste;
- Uma estrutura de concreto pré-moldado em que se tem vigas simplesmente apoiadas (simples, ou com um ou dois balanços);
- Uma tesoura de telhado;
- Uma treliça espacial de cobertura;
- Uma torre em treliça espacial;
- Uma estrutura em que se tem um ou mais arcos.

Para direcionar melhor o que deve ser feito no projeto, pediu-se que a análise das estruturas escolhidas pelos alunos contivesse:

1. Fotografias da estrutura e de seus detalhes, principalmente das ligações entre seus elementos e dos seus apoios, tiradas pelos próprios alunos.
2. Exame da estrutura, com respostas às seguintes perguntas:
 - Qual é o material da estrutura?
 - Quais são as cargas que atuam na estrutura?
 - Qual é o esquema da estrutura – formada por barras, placas, blocos, dispostos de que forma, etc.?
 - Como são as ligações entre os elementos da estrutura?
 - Como você acha que a estrutura se deforma?
 - Como você acha que os esforços caminham pela estrutura até chegarem aos apoios (obs.: a deformação de uma estrutura dá uma ótima indicação de como os esforços caminham por ela)?
 - Que esforços você acha que atuam nos vários elementos da estrutura – tração, compressão, flexão, torção, compressão e flexão conjuntamente, etc. (obs.: a deformação de uma estrutura dá uma ótima indicação dos esforços que atuam em seus elementos)?

Para deixar bem claro qual é o espírito do projeto, foi feita a seguinte observação em complementação aos itens da análise a ser elaborada:

Os professores da disciplina sabem quais são as limitações dos alunos, e não esperam que as respostas às três últimas perguntas venham a ser absolutamente perfeitas e rigorosas.

O objetivo do projeto é fazer os alunos pensarem em como as estruturas se comportam e em como elas trabalham. É o esforço feito pelos alunos no sentido de entenderem o comportamento das estruturas que será valorizado, e não uma explicação completa e exata deste funcionamento, o que, para muitas das estruturas escolhidas, estará acima do nível de conhecimento dos alunos desta disciplina.

Além da modificação das estruturas a serem analisadas e de uma melhor explicação sobre o que os alunos devem fazer, durante o último mês de execução do projeto os professores irão acompanhar sua execução.

4. CONCLUSÕES

A introdução de um projeto de observação e análise de estruturas na primeira disciplina de Mecânica das Estruturas do curso de engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi, tanto na avaliação dos professores como dos alunos, uma experiência muito bem sucedida.

Seus objetivos, de despertar o interesse dos alunos pelas estruturas e de mostrar a ligação entre os assuntos examinados na sala de aula e as estruturas reais, foram alcançados.

A avaliação do projeto feita após a sua primeira execução no segundo semestre de 1999 mostrou que, para que seus resultados sejam plenamente alcançados, deve-se:

- Analisar estruturas semelhantes às examinadas no curso, não apenas para facilitar a ligação entre a teoria e a prática, mas, principalmente, por serem estruturas cujo comportamento já é conhecido pelos alunos, o que aumenta muito seu interesse em analisá-las;
- Ao se propor o projeto, deixar bem claro quais são os seus objetivos e o que se espera que seja executado. O objetivo do projeto é estimular os alunos a observarem as estruturas que os cercam e a procurarem compreender como elas funcionam. Como são alunos iniciantes, sem conhecimentos prévios sobre estruturas, não se pode esperar

que consigam entender completamente o funcionamento das estruturas examinadas, e é necessário que se diga a eles que é exatamente isto que se espera;

- Acompanhar a execução do projeto, orientando a escolha das estruturas, esclarecendo como se deve fazer a sua análise. Como as dúvidas aparecem de fato no momento da execução do projeto, é importante que exatamente neste hora os alunos possam esclarecê-las.

Por ter tido bastante êxito e muita importância para a aprendizagem, este projeto continuará a ser proposto aos alunos da disciplina básica de Mecânica das Estruturas, procurando-se ao final de cada semestre aprimorá-lo com base nas avaliações feitas pelos professores e alunos.

REFERÊNCIAS

Lindenberg Neto, H. e Arévalo, L. A. T. “Using images to teach the beginnings of structural engineering”. Proceedings of the International Conference on Engineering Education – ICEE-98: progress through partnership, strengthening alliances (em CD-Rom). Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1998