



ENSIINO E APRENDIZAGEM DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL POR MEIO DE MODELOS FÍSICOS PARA ANÁLISE QUALITATIVA

Marina M. Duarte – marina.duarte@univali.br
Universidade do Vale do Itajaí
5ª Avenida, s/n, Bairro dos Municípios
CEP 88337-300 Balneário Camboriú - Santa Catarina

Károla Adéle Stach – karola_adele@hotmail.com
Universidade do Vale do Itajaí
5ª Avenida, s/n, Bairro dos Municípios
CEP 88337-300 Balneário Camboriú - Santa Catarina

Resumo: *O ensino de estruturas atualmente praticado nos cursos de Arquitetura apresenta, em sua grande maioria, uma metodologia pouco adequada, deixando de atender às necessidades mais imediatas e aplicativas para a formação profissional desejada. Nos cursos de Arquitetura e Urbanismo o aluno tem contato, desde o início, com o desenvolvimento de projetos arquitetônicos de edificações. A compreensão do comportamento estrutural é essencial para a elaboração destes projetos, porém, este estudo ocorre, com frequência, de maneira descontextualizada, prejudicando a assimilação dos conteúdos por enfatizar aspectos quantitativos em detrimento do conhecimento conceitual, formando um profissional despreparado para conceber, manipular e aplicar em seus projetos várias possibilidades de sistemas estruturais disponíveis. Uma alternativa para promover o aprendizado de forma qualitativa é a utilização de modelos reduzidos de sistemas estruturais. O presente trabalho apresenta a aplicação, em sala de aula, de atividades para a elaboração de maquetes com a finalidade de representar diferentes fenômenos físicos das estruturas. A forma, a dimensão, os materiais a serem empregados, assim como a própria confecção dos modelos, foram definidos com o objetivo de aprimorar o entendimento do conteúdo e formular soluções e comprovar sua eficiência. O resultado imediato é ilustrado através das imagens e a comprovação de que a análise qualitativa promove, através da intuição, uma base para a elaboração dos primeiros projetos e o início do estudo quantitativo dos sistemas estruturais.*

Palavras-chave: *Ensino-Aprendizagem, Estruturas, Maquetes.*



1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de qualquer projeto arquitetônico inicia-se com uma ideia de forma. O projeto dessa forma deve levar em conta diversos fatores como conforto, tecnologia, estrutura, função da edificação, entre outros. Todos esses itens se complementam e interagem entre si. Portanto, o profissional responsável pela criação do desenho deve estar ciente de que essa tarefa envolve outros tantos conhecimentos para que se obtenha uma forma agradável e coerente do ponto de vista estético, funcional, estrutural e tecnológico.

Para Rebello (2006):

[...] é muito comum entender-se a arquitetura como a criadora das formas, como se essas pudessem acontecer isoladamente e independentemente da estrutura, do material do qual é produzida e dos processos de produção. Na verdade, a criação de uma forma implica a criação de uma estrutura. A estrutura e a forma, ou a estrutura e a arquitetura, são um só objeto e, assim sendo, conceber uma implica conceber a outra. Arquitetura e estrutura nascem juntas; portanto, aquele que cria a forma também é aquele que cria a estrutura.

Há, de fato, uma tendência de se segmentar os conhecimentos como conteúdos independentes, sem a preocupação de se obter ao longo da formação do profissional de arquitetura uma interdisciplinaridade indispensável para a elaboração de um bom projeto.

Observa-se frequentemente que o estudo de estruturas, por exemplo, tem seu enfoque nos cálculos matemáticos sem antes ter havido uma abordagem qualitativa sobre os fenômenos estruturais, seus esforços e suas implicações diretas no projeto da forma.

Vários trabalhos apresentados nos Encontros Nacionais de Professores de Estruturas para Escolas de Arquitetura recomendam que o ensino seja dividido em três etapas. Na primeira, de caráter introdutório, o objetivo é colocar o aluno em contato com os fenômenos estruturais a partir de uma abordagem conceitual como a manipulação de modelos. Após esta etapa intuitiva, iniciam-se os estudos quantitativos de caráter aprofundado. Neste momento são realizadas comparações dos resultados obtidos em ambas as etapas. Na terceira fase ocorrem as atividades de projeto, nas quais os alunos devem desenvolver soluções arquitetônicas integradas à estrutura (SARAMAGO; LOPES, 2009).

Torroja (1960) foi um dos primeiros a defender a ideia de que a concepção estrutural, enquanto fruto de um processo criativo, necessariamente deve estabelecer a conexão entre processos técnicos e artísticos. O autor defende que a discussão conceitual da forma e da estrutura deve ser priorizada para que o modelo matemático seja o resultado e não a causa do projeto. Afinal, para ele, a concepção de um sistema estrutural é anterior ao cálculo – que existiria para confirmar ou testar aquilo que foi concebido pela mente humana.

Tal ponto de vista é compartilhado por Margarido (2001), ao afirmar que a dificuldade de assimilação do comportamento estrutural tem sua origem no fato de que as grandezas físicas que determinam as modificações nos elementos estruturais – facilmente demonstráveis e quantificáveis por fórmulas matemáticas – não são acessíveis à percepção direta.

Uma alternativa para promover o aprendizado de forma qualitativa é a utilização de modelos reduzidos de sistemas estruturais. Esta metodologia tem sido empregada com sucesso em várias universidades (RODRIGUES; HERMIDA, 2006; OLIVEIRA, 2006). Esses modelos são confeccionados com materiais flexíveis como o silicone, a borracha e o elástico, sem a preocupação com fatores de escalas, nem de estética. Eles simulam, de maneira

exagerada, os deslocamentos sofridos pelos diversos elementos estruturais, o que facilita a compreensão dos conceitos básicos de tração, compressão, flexão, flambagem e torção. Utilizando-se o sentimento e a intuição, o assunto torna-se mais atraente, sem ser superficial, desenvolvendo-se uma base para o início do estudo do processo quantitativo dos diversos fenômenos existentes na estrutura. (Rodrigues; Hermida, 2006).

A possibilidade de experimentação com modelos, além de simples, concretiza o comportamento das estruturas e torna-se um guia de intuição ao aluno iniciante motivando-o a ampliar e aprimorar seus conhecimentos de estruturas. Além disso, conciliar o comportamento estrutural no momento da concepção da forma torna o profissional de arquitetura mais completo e o projeto melhor resolvido.

2. DESENVOLVIMENTO

O trabalho é desenvolvido no primeiro período do curso de Arquitetura e Urbanismo. A intenção é a criação de modelos simples que demonstrem conceitos de sistemas estruturais, esforços, comparem diferentes soluções de concepção e lançamento ou ilustrem alternativas distintas entre sistemas construtivos.

As ideias são propostas por grupos de alunos que definem, com o devido assessoramento e acompanhamento do professor, a forma, a dimensão e os materiais a serem empregados para cada uma das partes do modelo. A metodologia utilizada explora a intuição no processo de aprendizagem com o objetivo de mostrar ao aluno que, desde a criação de qualquer forma, há a necessidade da definição simultânea do sistema estrutural e da concepção da estrutura. Dessa maneira, salienta-se a relevância do comportamento estrutural no processo de projetar e executar uma edificação.

A elaboração é feita em sala de aula e conta com o apoio do LAMCO - Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas.

O resultado é a percepção do comportamento das estruturas por meio da observação das configurações deformadas dos elementos, confeccionados com materiais relativamente flexíveis, a partir da aplicação de determinadas solicitações. Com isso, os conhecimentos adquiridos durante o curso são visualizados na prática.

A seguir são apresentados alguns modelos criados e construídos pelos alunos, quando do primeiro contato deles com a área de estruturas.

2.1. Direção das diagonais de treliças

Treliças são elementos estruturais bastante empregados para vencer grandes vãos e conceber grandes balanços. Os elementos das treliças, submetidos a esforços de tração e compressão simples, podem ter seu desempenho otimizado em função da direção das diagonais. Observa-se uma maior coerência dos resultados em projetos de treliças em que as diagonais estão direcionadas para os apoios, conduzindo mais facilmente o carregamento.

A análise desse comportamento foi realizada experimentalmente por um grupo de alunos que propôs a construção de duas treliças em balanço com variação da direção das diagonais. Os banzos e montantes foram executados em madeira, as diagonais com elásticos e os nós articulados com botões de pressão, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Modelo de treliça com variação da direção das diagonais.

Observa-se que a treliça com as diagonais na direção do apoio apresenta tração nesses elementos, enquanto a treliça com diagonais no outro sentido teria que ser construída substituindo-se o elástico por outro material em função dos esforços de compressão desenvolvidos nas diagonais.

2.2. Contraventamento

As edificações estão sujeitas a esforços horizontais, como ação dos ventos, por exemplo. O contraventamento é uma das soluções empregada para garantir a estabilidade global de uma edificação.

A solução de um contraventamento em “X” aparece bastante em edificações com estruturas metálicas e em vigas treliçadas.

A análise dos esforços e da deformação das barras do contraventamento pode ser realizada através dos pórticos apresentados na Figura 2. A observação do comportamento do pórtico sem nenhum travamento e do pórtico com travamento em “X” comprova a fragilidade do primeiro e a maior rigidez do segundo. Além disso, esforços de tração e de compressão desenvolvidos nas diagonais podem ser visualizados.

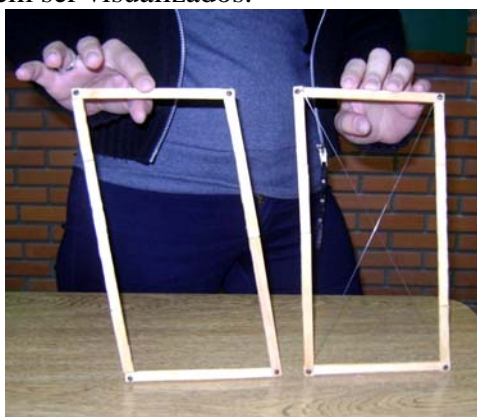


Figura 2 – Modelo de quadro contraventado e sem contraventamento.

2.3. Viga

As vigas são peças submetidas preponderantemente a esforços de flexão quando solicitadas por carregamento transversal. Há várias maneiras de se conseguir um aumento da

resistência da peça a esse tipo de esforço. Pode-se, por exemplo, aumentar a resistência do material ou alterar sua seção transversal.

Ao alterar a seção transversal de uma viga para aumentar sua resistência à flexão, é mais interessante modificar o valor de sua altura e não de sua largura. Isso fica claro quando se observa o momento resistente na equação do cálculo de tensões de flexão pura. No entanto, em um primeiro contato com o assunto e antes mesmo de estudar a porção do cálculo de peças submetidas à flexão, é possível experimentar as duas possibilidades e avaliar a eficiência de cada uma delas através de modelos estruturais.

Para essa compreensão, um grupo de aluno construiu três modelos de espuma com um trecho bi-apoiado e variou a seção transversal. O primeiro modelo apresentava uma seção transversal quadrada. O segundo modelo foi testado com o dobro da largura do primeiro e a mesma altura. Já o terceiro modelo teve sua altura duplicada e manteve a mesma largura do primeiro, conforme apresentado na Figura 3. Através da configuração deformada após aplicação de carga nos três modelos, observa-se qual é a alternativa mais resistente (Figura 4).



Figura 3 – Modelos em espuma de viga com variação da seção transversal.

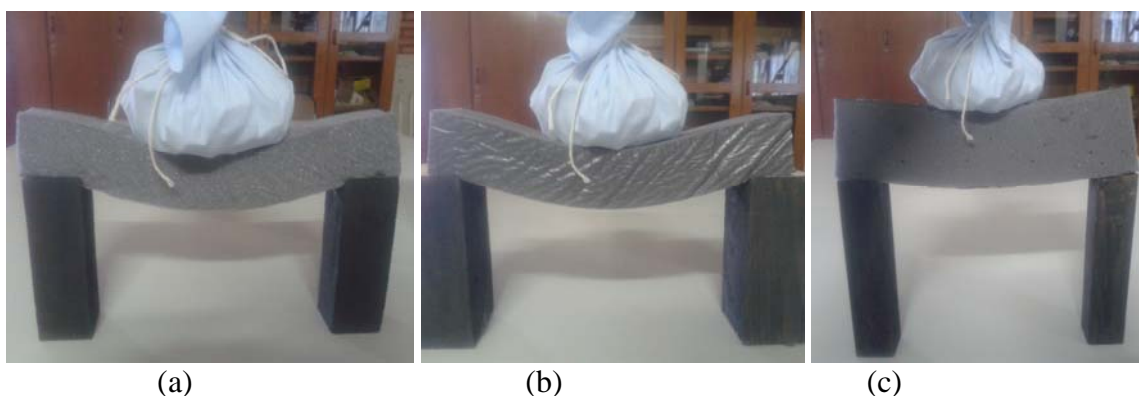


Figura 4 – Modelos em espuma de viga com variação da seção transversal. Modelo com seção transversal quadrada (a). Modelo com o dobro da largura do primeiro e a mesma altura (b). Modelo com o dobro da altura dos anteriores e mesma largura (c).

2.4. Lajes armadas em uma direção e em duas direções

O comportamento das lajes quanto à direção da distribuição do carregamento dá origem à classificação desse elemento em unidirecional e bidirecional. O entendimento desse conceito torna-se simples ao se analisar dois exemplos extremos, como uma laje quadrada e outra retangular com duas dimensões bem maiores que as demais.

Os modelos apresentados na Figura 5 evidenciam, através do material flexível utilizado para a simulação da laje, o comportamento bidirecional e unidirecional de uma laje quadrada e outra retangular, respectivamente.



Figura 5 – Modelos em EVA de duas formas de conceber uma sacada em balanço.

2.5. Concepção de balanços

Balanços em projetos de edificações em concreto armado moldado ‘in loco’ podem ser concebidos de diferentes formas. Na elaboração do projeto arquitetônico deve ser levada em consideração a solução final desejada para que se obtenha uma configuração estrutural compatível com o desejado esteticamente.

Analisando-se uma sacada executada com vigas em balanço engastadas numa viga de apoio e outra sacada de mesma dimensão, porém, com solução de vigas contínuas é possível observar comportamentos estruturais distintos (Figura 6).

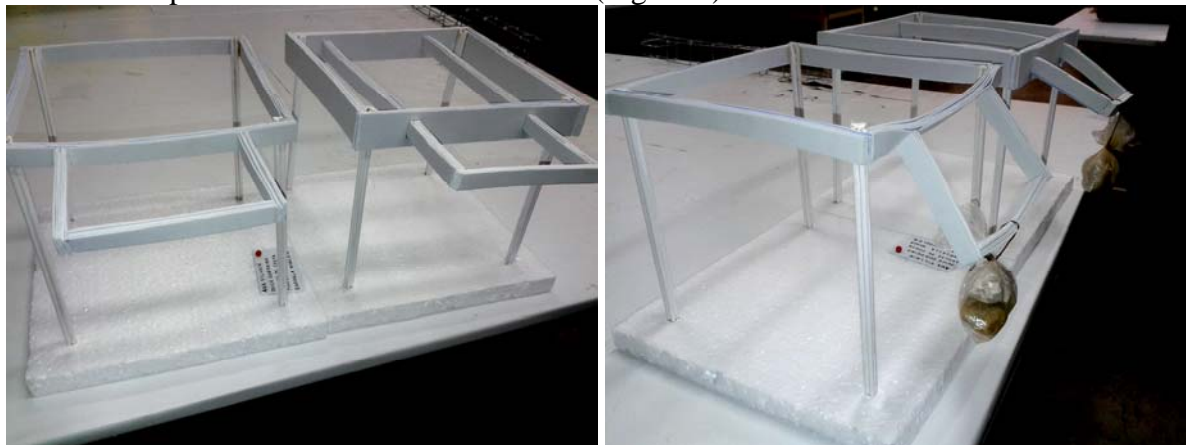


Figura 6 – Modelos em EVA de duas formas de conceber uma sacada em balanço.

Mantendo-se as mesmas dimensões, os mesmos vãos e aplicando-se a mesma carga, conclui-se que a deformação é menor quando há continuidade das vigas. Além disso, observa-se um esforço de torção no modelo sem continuidade das vigas (Figura 6).

2.6. Funicular de cargas

O cabo é um sistema estrutural que tende a adquirir a forma diretamente ligada à posição, direção, sentido, quantidade e intensidade das forças que atuam sobre ele. As diferentes formas que o cabo adquire em função do carregamento denominam-se funiculares das cargas. A forma funicular apresentada pelo cabo é análoga ao diagrama de momento fletor ao longo de uma viga de mesmo vão e de mesmo carregamento do cabo. Além disso, a

observação dos funiculares de cargas permite visualizar o formato de um arco que apresente somente esforços de compressão.

O modelo estrutural foi realizado com um suporte de madeira, barbante e pesinhos de pesca removíveis para a visualização de diferentes funiculares, dependendo da carga que é aplicada (Figura 7).



Figura 7 – Variação das cargas aplicadas em um cabo.

2.7. Concreto Armado e Concreto Protendido

Os alunos de arquitetura apresentam muita curiosidade em conhecer o funcionamento do concreto protendido em função de suas potencialidades para a concretização de projetos arrojados, com grandes vãos, balanços importantes, layout livre, etc. As vantagens e potencialidades do sistema são fundamentadas na execução de peças com armadura ativa. A observação do seu comportamento estrutural possibilita associar propriedades como diminuição de flechas e fissuras, maior área da seção transversal submetida à compressão e diminuição da seção transversal das peças.

Com esse objetivo, um grupo de alunos propôs a comparação entre dois sistemas estruturais. Foram construídos dois modelos de vigas bi-apoiadas de mesma seção transversal e mesmo vão. O primeiro simulava o concreto armado e o segundo o concreto protendido. Os dois modelos foram executados em cubos de isopor com a introdução de um canudo na região tracionada para representar a armadura. A armadura passiva foi reproduzida através de um elástico tracionado e fixo nas extremidades do canudo (Figura 8).

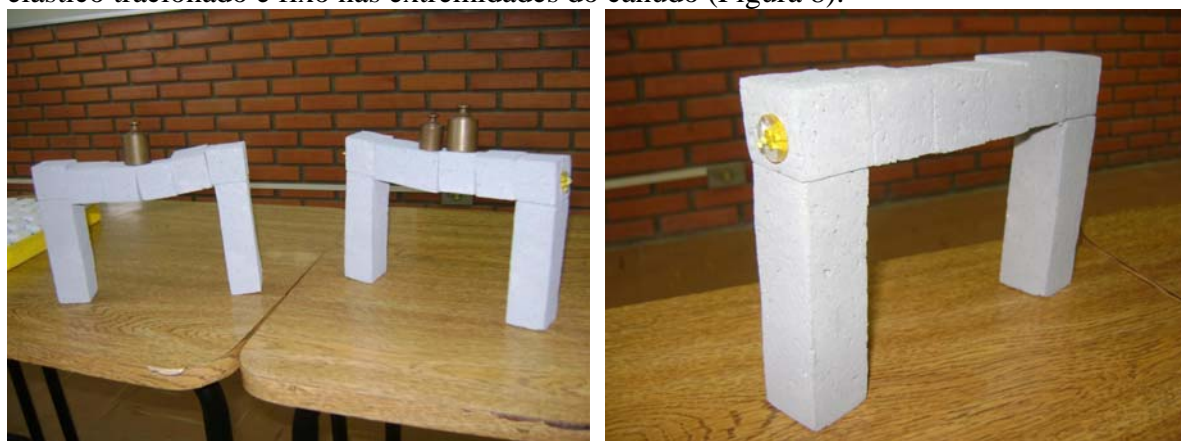


Figura 8 – Modelos de vigas bi-apoiadas simulando concreto armado e protendido.

Através da aplicação de cargas observam-se, no modelo de viga protendida, menor deformação e menor abertura das peças na região tracionada. A análise do comportamento possibilita um entendimento rápido das potencialidades do sistema.

2.8. Concreto Armado moldado 'in loco' Concreto Armado Pré-fabricado

Uma das principais diferenças estruturais entre o concreto armado moldado 'in loco' e o concreto armado pré-fabricado diz respeito à questão da estabilidade estrutural. O fato de uma edificação em concreto armado moldado 'in loco' ser considerada monolítica e hiperestática, com grande resistência a esforços horizontais, é apontado constantemente como uma vantagem em relação a outros sistemas estruturais.

Um grupo de alunos se propôs a representar dois sistemas que diferem entre si quanto à questão acima citada. Para o concreto armado moldado 'in loco', recortaram vazios em um bloco de isopor, deixando restar elementos para simular pilares, vigas e lajes. O concreto armado pré-fabricado foi elaborado com o mesmo material, mas com elementos isolados (Figura 9).



Figura 9 – Modelos de edificações com simulação do sistema estrutural em concreto armado moldado 'in loco' e em concreto armado pré-fabricado.

A diferença da estabilidade global é de fácil visualização através dos modelos e torna concreto mais um conceito teórico.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo carece de adaptações no que se refere à interdisciplinaridade e à abordagem qualitativa e intuitiva do conteúdo programático. A descontextualização do processo didático pedagógico adotado na maioria dos casos abstrai o conhecimento dificultando a formação adequada do aluno.

O início do processo de ensino e aprendizagem dos fenômenos físicos que acontecem nas estruturas com um enfoque intuitivo-qualitativo resulta em um entendimento facilitado do comportamento das peças solicitadas.

Os modelos físicos possibilitam a experimentação dos esforços e a visualização da configuração deformada concretizando conceitos abordados em sala de aula. Todo o processo de elaboração e escolha dos materiais envolve experiências e tentativas que contribuem para essa etapa intuitiva.

Com isso, tanto o estudo quantitativo de caráter aprofundado, quanto a aplicação dos conceitos da área de estruturas na concepção dos projetos arquitetônicos, tornam-se etapas facilitadas após o entendimento qualitativo inicial.



4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARGARIDO, A.F. **Fundamentos de estruturas: um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas.** São Paulo: Ziguarte, 2001.

OLIVEIRA, M.S. **Maquetes Estruturais.** Congresso Latino-americano da Construção Metálica - CONSTRUMETAL -, São Paulo, 2006

REBELLO, Y.C.P. **Algumas questões sobre o processo de concepção da arquitetura e da estrutura.** *Integração*, ANO XII, n° 47, p.315-321, Out/Nov/dez 2006.

RODRIGUES, P.F.N., HERMIDA A. S. **Modelagem de Elementos Básicos de Estruturas para a Análise Qualitativa do Comportamento Estrutural.** *Revista de Ciência & Tecnologia*, Vol. 6 – n° 1 – Jun/2006.

SARAMAGO, R.C.P., LOPES, J.M.A. **Ensino de estruturas nas escolas de arquitetura do Brasil: estrutura curricular e recursos didáticos.** *Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009*, p. 169-179, 2009.

TORROJA, E. **Razón y Ser de los Tipos Estructurales.** Madrid: MAG. English version: *Philosophy of Structures*, translated by J.J. Polivka and Milos Polivka, 1960.

TEACHING AND LEARNING OF STRUCTURAL BEHAVIOR THROUGH REDUCED STRUCTURAL MODEL FOR QUALITATIVE ANALYSIS

***Abstract:** The teaching of structures presently used in the courses of Architecture presents, for the most part, a methodology unsuitable, disregarding the required concepts for the professional training. In the beginning of Architecture courses the students develop architectural designs of buildings. The understanding of structural behavior is essential for the projects, however, this study occurs, frequently, fragmented, undermining the assimilation of the content because it prioritizes quantitative aspects, forming a professional unprepared to design, manipulate and implement available structural systems in their projects. An alternative to promote learning in a qualitative way is to use reduced models of structural systems. This paper presents the implementation, in the classroom, activities for the development of models in order to represent different physical phenomena of the structures. The shape, size, materials to be used, as well as the making process of the models were*



defined in order to improve the understanding of the content and prove its efficiency. The immediate result is illustrated through the images and evidence that the qualitative analysis promotes, by intuition, a basis for the development of the first projects and the start of the quantitative study of structural systems.

Key-words: *Teaching and Learning, Structures, Reduced Models*