



MAQUETES ESTRUTURAIS COMO AUXÍLIO NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL ATRAVÉS DE 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

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 fragmentada, 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

No curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali o aluno tem contato, desde o início, com o desenvolvimento e planejamento de edificações para as mais diversas finalidades. Para tanto, faz-se necessário compreender que todas as estruturas criadas pelo homem são concebidas e projetadas para atender a determinados requisitos básicos, sejam de funcionalidade, de estética, de economia, de equilíbrio, de estabilidade ou de resistência (RODRIGUES; HERMIDA, 2006).

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.

Assim, o ensino de estruturas em cursos de Arquitetura e Urbanismo deve desenvolver o raciocínio para capacitar o aluno a formular soluções e comprovar sua eficiência (Polillo, 1974 *apud* SARAMAGO; LOPES, 2009).

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).

Para Rebello (1993 *apud* SARAMAGO; LOPES, 2009), o ensino de estruturas ocorre, na maioria dos cursos, de maneira fragmentada, prejudicando a assimilação dos conteúdos por enfatizar aspectos quantitativos em detrimento do conhecimento conceitual, formando um profissional despreparado para conceber, manipular e aplicar em projetos várias possibilidades disponíveis.

Segundo Saramago e Lopes (2009), as dificuldades mencionadas estão relacionadas ao fato de que a maioria das disciplinas ministradas nestes cursos é, tradicionalmente, oferecida pelos cursos de Engenharia - com enfoque e objetivos divergentes daqueles dos cursos de Arquitetura.

Torroja (1960) foi um dos primeiros a defender a idéia 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).

Rebello (2005) cita que o aprendizado de estruturas não deve focar em resultados de números, mas sim em resultado de relações físicas que podem ser traduzidas em números. Segundo o autor, ver como um fenômeno ocorre simplifica de maneira substancial o aprendizado.

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 tem início com a criação de estruturas simples que contenham sistemas estruturais básicos. As idéias 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 da maquete. 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 criação simultânea da estrutura. Dessa maneira, salienta-se a relevância do comportamento estrutural das peças 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 e do LAMMO – Laboratório de Materiais e Modelos.

O resultado é a percepção do comportamento estrutural 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 apresentadas algumas estruturas criadas e elaboradas pelos alunos, quando do primeiro contato deles com a área de estruturas.

2.1 Viga

As vigas são peças submetidas a esforços de flexão quando solicitadas por carregamento vertical. A configuração deformada da peça carregada está associada a esses esforços, sendo representativa para a visualização de regiões tracionadas e comprimidas.

A modelagem através de materiais deformáveis permite fácil percepção de onde há tração e compressão em vigas fletidas. Para essa compreensão, um grupo de aluno construiu um modelo de espuma com um trecho bi-apoiado e um trecho em balanço, conforme apresentado na Figura 01.

A configuração deformada que surge com um carregamento na parte bi-apoiada mostra as fibras tracionadas na porção inferior e as comprimidas na porção superior. Ao aplicar-se carregamento na parte em balanço, a inversão desses esforços fica claramente assimilada.

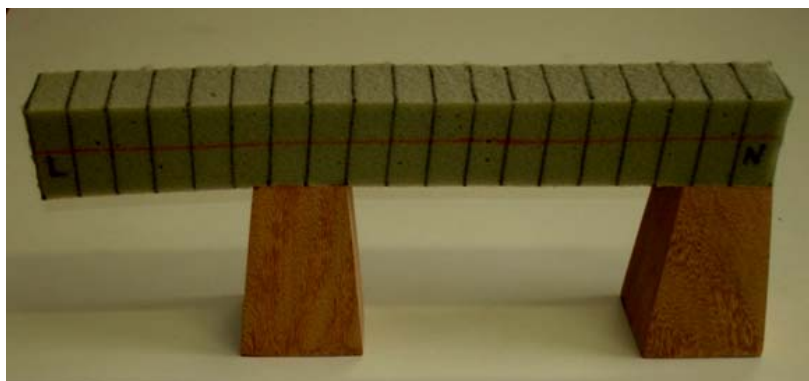


Figura 1 – Modelo em espuma de viga com trecho biapoiado e outro em balanço.

2.2 Arcos

A geometria do arco pode fazer com que apareçam apenas esforços de compressão ou que apareçam esforços concomitantes de compressão e flexão. Arcos submetidos somente à compressão podem, teoricamente, serem construídos com o mesmo princípio dos romanos, apenas com blocos justapostos, sem o emprego de nenhum aglomerante.

A idéia proposta por um grupo de alunos, ilustrada na Figura 2, tem o objetivo de mostrar o comportamento de diferentes soluções para o apoio de um tabuleiro de ponte. Partiram da elaboração de apenas um arco, bastante abatido e evoluíram até uma proposta com diversos arcos. A conclusão obtida é de que à medida que se diminuem os vãos para cada um dos arcos, menos abatidos eles ficam e menos tendência a fletir apresentam. Com isso, há aumento da rigidez para o tabuleiro da ponte, demonstrado através da aplicação de carga (com um caminhão de brinquedo carregado de pedras).



Figura 2 – Soluções em arco para a sustentação do tabuleiro.

2.3 Arcos e Cabos

A idéia proposta por um grupo de alunos, mostrada na Figura 3, era a de demonstrar a tendência de abertura de arcos abatidos devido à presença de força horizontal nos apoios. Além disso, tinham a intenção de projetar uma maneira que auxiliasse a peça a resistir aos esforços de flexão que surgem no centro do arco.

Feito de material flexível, a visualização da flexo-compressão fica clara quando aplicadas cargas sobre a maquete. Da mesma forma, é simples a percepção do comportamento à tração dos cabos, feitos em fio flexível, criados para resistirem aos esforços horizontais dos apoios e à tendência da peça fletir no seu centro.

As hastes feitas com palitos e pintadas de azul estão posicionadas com uma inclinação que contribui para a absorção dos esforços de flexo-compressão a que estão submetidas.

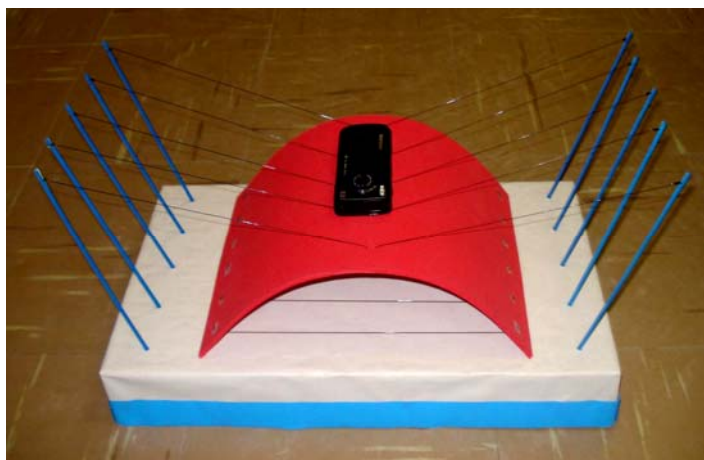


Figura 3 – Sistema estrutural com cabos e arcos.



2.4 Treliça plana

As treliças são sistemas estruturais que, frequentemente, são aplicados para solucionar projetos arquitetônicos com grandes balanços ou grandes vãos. O projeto arquitetônico pode explorar o efeito aparente de uma estrutura treliçada empregada com a altura do pé-direito, suportando piso e cobertura da edificação.

Elaboradas com materiais resistentes a esforços de tração e compressão, são projetadas com barras retas que formam triângulos entre si e recebem, preferencialmente, as cargas sobre os seus nós. Cargas fora dos nós geram flexão na barra.

Os cabos podem ser aplicados como elementos que transferem a carga axial de tração de baixo para cima (tirantes), em situações que, por limitação de espaço ou do projeto arquitetônico, não há a possibilidade de criar um apoio convencional de pilar.

A maquete apresentada na Figura 4 mostra a aplicação simultânea de vigas treliçadas planas e cabos de aço. As vigas transversais da cobertura são posicionadas sobre os nós da treliça, assim como acontece com a fixação dos cabos. No entanto, a criação dos pilares treliçados sem fazer coincidir as suas barras com os nós da treliça plana geram esforços de flexão.



Figura 4 – Aplicação de sistema de viga treliçada e cabos de aço.

2.5 Membranas

As membranas são estruturas que surgem da associação de cabos com a malha de cobertura e elementos de suporte.

Através da modelagem da estrutura ilustrada na Figura 5 os alunos visualizaram que há peças submetidas à tração, como os cabos e a malha, e há esforços de compressão nos elementos de suporte.

A aplicação experimental de diferentes cargas aponta que as membranas não são estruturas resistentes a cargas concentradas.



Além disso, o grupo teve dificuldade em fixar a malha na base inicialmente escolhida de isopor. Isso foi solucionado quando a base foi substituída por um material mais duro. Os alunos concluíram, então, que aparecem esforços de tração nas ancoragens, a serem devidamente resistidos.



Figura 5 – Maquete de sistema de membrana.

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.

As maquetes possibilitam a experimentação 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. **Só se cria com criatividade**. Revista Prisma (Edição 13). 2005.
- 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.

REDUCED STRUCTURAL MODEL TO ASSIST IN THE PROCESS OF TEACHING AND LEARNING OF STRUCTURAL BEHAVIOR BY 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