

METODOLOGIA PARA O ENSINO DE ESTRUTURAS COM MODELOS REDUZIDOS

Pedro H. A. Guimarães – pedroavancini12@gmail.com

Juliana da C. V. Pires, Dra. – jcviana30@gmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Avenida Fernando Ferrari, 514

29060-970 – Vitória – ES

Resumo: *O presente artigo aborda a utilização de modelos reduzidos de estruturas como arcos, treliças, pórticos e vigas no ensino das disciplinas iniciais da área de estruturas dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Utilizando-se de resultados de observações de metodologia utilizada na comunidade acadêmica e de números de retenção das disciplinas iniciais da área estrutural da engenharia civil, apresenta uma análise do uso de modelos reduzidos e protótipos para melhorar o processo de ensino-aprendizagem e expõe a utilização do novo Laboratório Didático de Estruturas, recentemente instalado pelo Departamento de Engenharia Civil da UFES, e dos serviços e materiais disponibilizados pelo mesmo como opções de complementar o ensino tradicional e proporcionar aos alunos um maior interesse nessa área.*

Palavras-chave: *Modelos Estruturais Reduzidos. Metodologias de aprendizagem. Engenharia Civil. Arquitetura e Urbanismo. Estruturas.*

1 INTRODUÇÃO

A sociedade está em constante mudança do seu modo de pensar, se relacionar e agir. A cada ano que passa, novas tecnologias e novos meios de comunicação tornam as práticas antigas obsoletas. Na formação profissional do engenheiro moderno não observamos algo diferente, as novas práticas sociais tornam cada vez maior a necessidade de alteração da forma como o processo de ensino-aprendizagem se concretiza.

De acordo com Gemignani (2012), o atual desafio da educação é a crescente busca por metodologias inovadoras que sejam capazes de ultrapassar os limites do treinamento puramente técnico e tradicional. Todavia não é possível pensar em educação sem considerar o contexto em que ela está inserida.

No ensino das disciplinas de Mecânica dos Sólidos III, equivalente a Resistência dos Materiais, e Análise Estrutural I, disciplinas iniciais da engenharia na área de estruturas, observa-se a necessidade de alteração da forma como o conteúdo é ministrado. O atual método, baseado em aulas expositivas e apresentação de slides, ainda é muito abstrato e em muitos casos impossibilitam o aluno de enxergar a engenharia no seu cotidiano. Muitas vezes o aluno é capaz de solucionar um problema de uma barra com dois apoios e uma carga concentrada, mas não consegue enxergar que na realidade ele está descrevendo o comportamento de uma viga biapoiada submetida a uma certa situação de carregamento.

De acordo com Harris & Sabins (1999, p. 681) um dos primeiros registros da utilização de modelos estruturais como metodologia de aprendizagem, foi Rathbun, que utilizando blocos de

madeiras e arames, estudou o comportamento de arcos em 1934. Todavia, mesmo sendo um método antigo, os modelos qualitativos e quantitativos ainda são pouco utilizados pelos professores a fim de ilustrar os conceitos e os resultados numéricos.

Desde a experiência de Rathbun, muitos modelos qualitativos e quantitativos com a finalidade de aprimorar o aprendizado dos discentes já foram elaborados. Como exemplo disso, Oliveira (2008) desenvolveu uma "Maquete Estrutural", composta por molas, esferas e chapas metálicas ligadas através de ímãs, pela força de atração magnética. Para o autor, o aluno deve experimentar primeiramente para depois conceituar, assim, a intuição é estimulada.

Segundo Pinheiro (2000), o desenvolvimento de protótipos desde as disciplinas iniciais do curso de engenharia mecânica, permite que o estudante conheça desde cedo a metodologia de desenvolvimento de projetos de engenharia, permite a criação de uma visão global e interdisciplinar do curso, estimula a curiosidade científica e torna-se um poderoso incentivo ao estudante.

Visando, então, incentivar o estudo de estruturas e proporcionar uma melhora no aprendizado dessa área nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, o Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) instalou, no primeiro semestre de 2019, o Laboratório Didático de Estruturas (LabDEst), que conta com modelos reduzidos recém-adquiridos de treliças, arcos, pórtico e vigas, que são utilizados nas atividades de ensino e pesquisa pelos professores e alunos dos cursos.

No presente artigo serão expostas as novas metodologias utilizadas no ensino das disciplinas iniciais da área de estruturas na UFES por meio da utilização dos modelos disponíveis no LabDEst, assim como os projetos de iniciação científica que buscam aprimorar o uso desses equipamentos. Tais pesquisas e metodologias visam diminuir as dificuldades apresentadas pelos alunos nessa área, proporcionando um aprendizado mais visual, intuitivo e envolvente.

2 METODOLOGIA DE ENSINO

2.1 Motivação

Diversos pesquisadores já comprovaram que o uso de metodologias adequadas e demonstrações práticas, auxiliam na compreensão dos alunos do curso de engenharia civil, ao que se refere à mecânica das estruturas. Além disso, experiência em outra Instituição de Ensino Superior (IES), onde existe um laboratório didático de estruturas para curso de graduação, motivou também a instalação do LabDEst na UFES, já que as aulas práticas despertavam maior interesse nos alunos. Na Universidade de São Paulo, por exemplo, a implantação do Laboratório Didático de Resistência dos Materiais veio como uma opção para suprir as faltas que existem nas escolas e, por meio da promoção de um pleno entendimento do assunto, motivar um maior interesse no estudo e na investigação (NAKAO *et al.*, 2003).

Outra motivação também vem de exemplos de algumas disciplinas que são ministradas no curso de Engenharia Civil na UFES, como por exemplo algumas relacionadas à área de Materiais de Construção Civil e Geotecnia, onde há uma maior participação e interesse dos alunos, justamente por terem laboratórios e aulas práticas.

Somado à isso, os números de retenção e de alunos convocados para avaliação final nas disciplinas da área de estruturas é ainda um fator que motiva a busca por novos métodos de ensino. Em Análise Estrutural I, dos alunos que fizeram a matéria no segundo semestre de 2018, último semestre antes da instalação do LabDEst, cerca de 67,5% foram convocados para a avaliação final, dos quais 44,4% foram reprovados. Em Mecânica dos Sólidos III, ainda que

mais positivos, os números ainda são altos com cerca de 46,7% convocados para avaliação final, dos quais 35,7% foram reprovados.

Observando os altos números de alunos que apresentaram dificuldades nas disciplinas iniciais da área de estruturas, somado aos resultados positivos obtidos com o uso de laboratório nas disciplinas da área de Materiais da Construção Civil e Geotecnia, assim como o uso de laboratório didáticos de estruturas em outras IES, questionou-se porque não adotar uma metodologia parecida nas disciplinas da área de estruturas.

2.2 Uso dos modelos reduzidos

O ensino de Análise Estrutural e Mecânica dos Sólidos exige do aluno um elevado nível de abstração para compreender e visualizar o problema. O uso de modelos reduzidos permite aos alunos saciarem tal exigência e criarem uma intuição sobre o funcionamento da estrutura. Segundo Moura *et al.* (2016) esses modelos ajudam o aluno a entender de forma mais prática como a estrutura é formada, os seus vínculos internos e externos e a garantia da estabilidade, tornando a aula mais prática e participativa.

Tais tecnologias complementam o modelo tradicional de ensino, em que a aprendizagem da teoria é feita em sua maioria via cálculos analíticos manuais. Os seus usos permitem a exploração de análises virtuais qualitativas, além de explorar áreas como a criatividade, o trabalho em equipe e a aplicação práticas dos conhecimentos visto em sala de aula. Contribuindo, assim, no aprendizado de resistência e propriedade dos materiais, mecânica e teoria das estruturas, sistemas estruturais e construtivos, concepção de projetos e técnicas de montagem na execução. (MOURA *et al.*, 2016)

2.3 Descrição da metodologia aplicada

As aulas práticas são ministradas no LabDEst e são programadas para ocorrer durante o semestre, intercalando com as aulas teóricas. As datas já ficam pré-estabelecidas nos planos de ensino das disciplinas, e os ensaios são programados para ocorrer de acordo o conteúdo abordado em sala de aula. Isto permite motivar os alunos em relação à teoria abordada e a experiência prática.

As aulas no laboratório envolvem atividades que exercitam e correlacionam três grandes esferas da aprendizagem: teoria, prática e análise.

A primeira esfera está fortemente ligada ao já visto em sala de aula. Como durante o semestre grande parte da carga horária das disciplinas são consumidas pela explicação teórica, nas aulas práticas, essa se dá de forma resumida. Assim, no início da aula prática, é apresentada uma breve revisão do assunto e isso permite que o aluno seja inserido no contexto que será explorado pelo uso dos equipamentos do laboratório.

A prática vem como a protagonista dos momentos no LabDEst e permite que o aluno possa consolidar aquilo que foi visto na sala de aula, entendendo não só o conceito, mas também as variáveis que influenciam os resultados e a mudança de comportamento das estruturas de acordo com carregamento imposto. Devido a quantidade de equipamentos disponíveis, essa experiência é proporcionada por meio de aulas interativas ou por meio da divisão da turma em grupos, conforme mostrado na figura 1. As aulas interativas, normalmente feitas quando se usa os modelos reduzidos TecQuipment (NOVA DIDACTA (2020)), consistem em momentos em que a turma toda se une para a realização de um único experimento. Nesse modelo o professor conduz o experimento, mas cada passo é realizado por um aluno diferente, de modo a garantir a participação de toda a turma. Durante a realização de cada etapa, é possível ocorrer uma discussão dos resultados esperados e comparação com os encontrados. Já nas aulas em que ocorre a divisão da turma em grupos, quando por exemplo se utiliza os Kit Mola, cada grupo

de alunos realiza o experimento programado para a aula com o auxílio do professor, técnicos do laboratório ou monitores. Normalmente, quando os equipamentos TecEquipment são utilizados nesse modelo de aula, os grupos realizam o mesmo experimento, alterando apenas alguns parâmetros como a posição de aplicação do carregamento.

A última esfera, a análise, representa uma parte importante do processo. Normalmente a mesma é feita após o término da aula na forma de relatório. Por meio dela os alunos são incentivados a analisar criticamente os resultados encontrados e perceber se o concluído é possível ou não de acontecer dentro da teoria e das limitações impostas pelos métodos estudados. Nesse momento os alunos devem ainda, utilizando os conceitos e/ou os métodos de cálculo conhecidos e comparando os resultados visuais e/ou medidos com os esperados, fazer uma análise e discussão dos dados do experimento.

Figura 1 – Utilização do LabDEst para aulas

(a) Aula interativa



(b) Aula em grupos



Fonte: Autores (2020)

Ao final desse processo, é esperado do aluno uma melhor compreensão do fenômeno que ocorreu e melhor visualização do funcionamento da estrutura frente as condições que foram impostas. A visualização e entendimento proporcionados pela esfera prática, aliada as bases teóricas e as conclusões motivadas pela análise do experimento, levam o aluno a criar uma intuição sobre a reação da estrutura. Desta maneira, ao realizar um projeto real ou até mesmo solucionar um problema teórico, é esperado que o aluno já descarte possibilidades impossíveis de acontecer.

2.4 Atividades extraclasse

As metodologias utilizadas nas atividades de ensino são complementadas com serviços extraclasse disponíveis à comunidade acadêmica. Durante a semana os monitores das disciplinas de estruturas se organizam em escala para manter o laboratório aberto para os alunos poderem estudar e tirar dúvidas. Além dos serviços de monitoria, o laboratório disponibiliza computadores para que os mesmos possam trabalhar com softwares estruturais como *Ftool* (2017) e *Structures*. Além disso, durante o período de funcionamento, os Kit Molas ficam à disposição para serem utilizados no espaço do laboratório.

3 MATERIAIS DISPONÍVEIS NO LABORATÓRIO

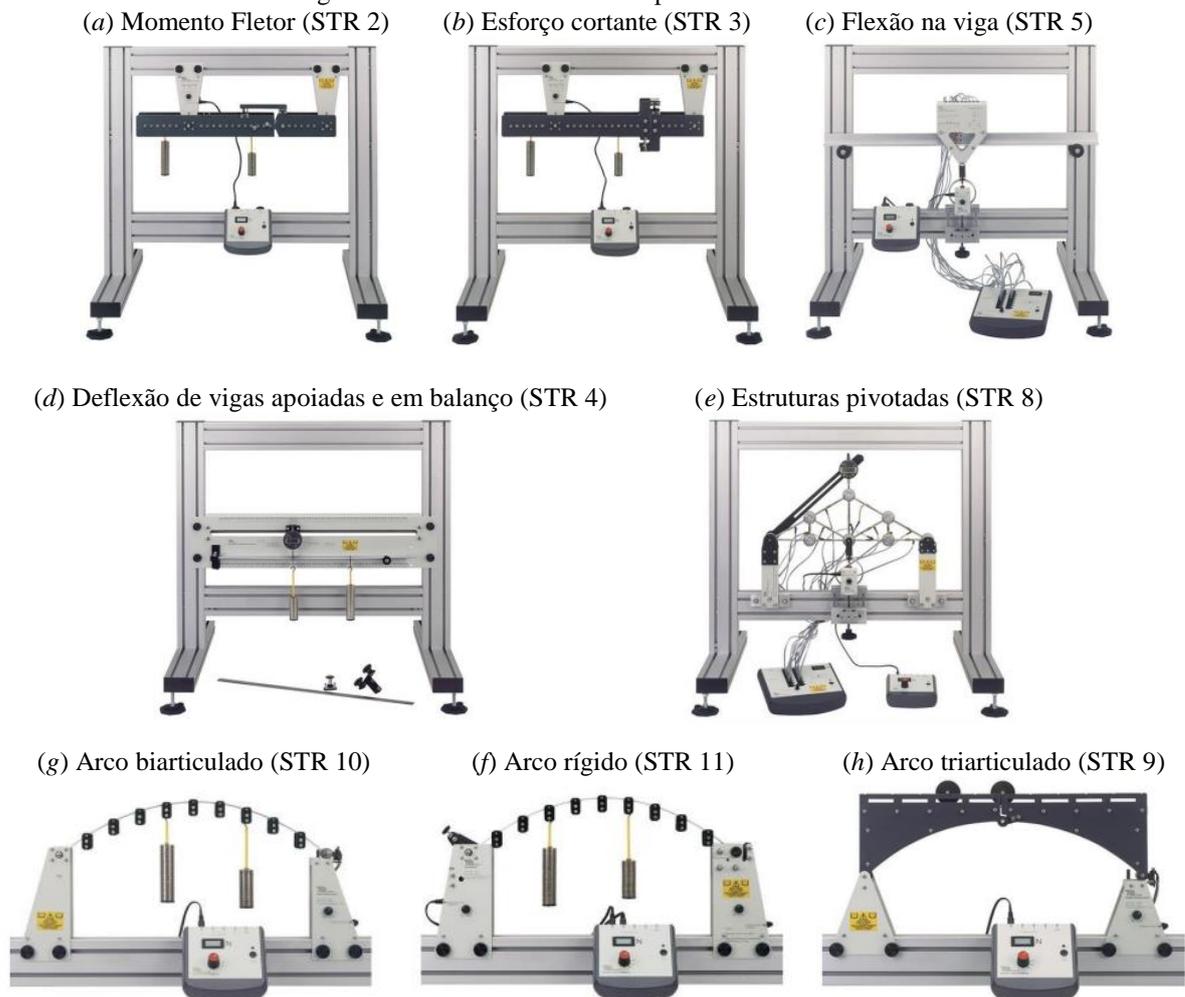
O laboratório LabDEst conta tanto com modelos estruturais que permitem a comparação de valores teóricos e práticos, mas também com modelos que permitem a visualização do

funcionamento da estrutura e de resultados, como por exemplo o Kit mola, sem a possibilidade de comparação numérica.

3.1 Modelos estruturais TecQuipment

Os modelos estruturais TecQuipment (NOVA DIDACTA (2020)) consistem em equipamentos de ensino para compreensão dos princípios de funcionamento de vigas, treliças e arcos. A UFES adquiriu 8 modelos estruturais para serem utilizados no laboratório. Os oito Structural Frame Test (STR) estão apresentados na figura 2.

Figura 2 – Modelos reduzidos disponíveis no LabDEst



Fonte: Nova Didacta (2020)

Os STRs contam com sensores que permitem a medição dos valores de alguns parâmetros como as reações de apoio (Figuras 2 g, f e h), o momento fletor (Figura 2 a), esforço cortante (Figura 2 b), flexão (Figura 2 c), flecha (Figura 2 d) e o esforço normal nas barras (Figura 2 e). Os sensores são ligados a um sistema de aquisição de dados que permite a integração dos modelos reduzidos com o Software *Structures*, disponibilizado pelo fabricante.

O software expande o experimento para além dos limites do modelo reduzido, tornando possível, a qualquer momento, mudar alguns parâmetros do experimento sem alterar o modelo real. Permite, por exemplo, que os alunos apliquem carregamentos que não são possíveis no modelo real, ou ainda testem diferentes tipos de carregamentos numa mesma estrutura. Pode

ser usado também como parâmetro para os experimentos realizados, uma vez que fornece os valores teóricos esperados.

Tais modelos são de grande importância para o aprendizado proposto pela metodologia do projeto, pois permitem que o aluno compare os valores teóricos e práticos, permitindo que o estudo da estrutura vá muito além da compreensão dos conceitos, mas que permita um estudo minucioso do comportamento da estrutura e da influência do carregamento na distribuição das tensões e cargas dentro da estrutura.

Os equipamentos vêm acompanhados de um manual que contém instruções de uso e sugestão de experimentos. Para complementar o estudo proposto pelo manual do fabricante, iniciou-se um projeto de iniciação científica em cima desses equipamentos. O projeto tem como foco a criação de novos experimentos, relacionando cada um dos modelos com temas centrais do ensino de estruturas, como linhas de influência e trens-tipo.

Além dos novos experimentos, um novo material de apoio para os alunos está em desenvolvimento. Seguindo as três esferas propostas na metodologia, teoria, prática e análise, o material conta com uma introdução teórica sobre a estrutura, instruções para uso, novos experimentos e, ao final de cada experimento, perguntas para guiar o processo de análise dos dados e discussão dos resultados.

3.2 Mola Structural Kit

O Mola Structural Kit ou Kit Mola (figura 3), criado a partir do estudo de Oliveira (2008) tem como objetivo, segundo o autor, proporcionar aos estudantes a compreensão dos conceitos básicos dos sistemas estruturais, visando facilitar a análise do comportamento das mesmas através do conhecimento teórico de cálculo.

Figura 3 – Estruturas montadas com o Kit Mola

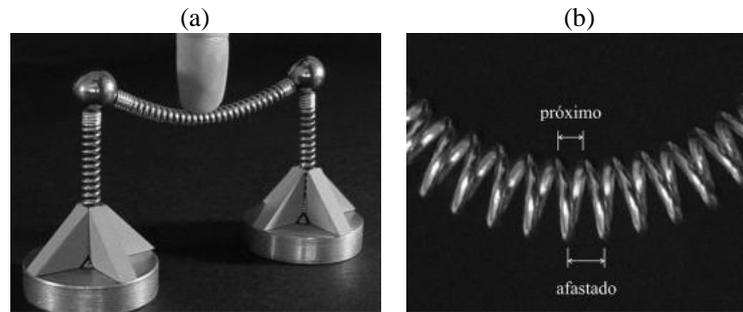


Fonte: Oliveira (2008)

O LabDEst conta com 20 modelos estruturais desse tipo, sendo 10 unidades do Kit Mola 1 e 10 unidades do Kit Mola 2.

Tais modelos permitem ao aluno uma percepção qualitativa dos fenômenos que ocorrem nas estruturas, possibilitando a visualização do comportamento da mesma frente à diversos tipos de solicitações diferentes. A versatilidade das peças que compõe o modelo torna possível a construção de inúmeras estruturas diferentes como vigas, pórticos, treliças, arcos, cabos, tirantes, entre outros. Assim, além de proporcionar um aprendizado mais visual, estimula a criatividade dos alunos e fomenta o interesse dos mesmos pelo conteúdo que está sendo explorado, por meio da criação de uma intuição nos alunos. A figura 4, permite um entendimento da intuição que se espera que seja criada nos alunos a partir do uso do laboratório.

Figura 4 – Deslocamento causado pela aplicação de uma força concentrada em uma barra

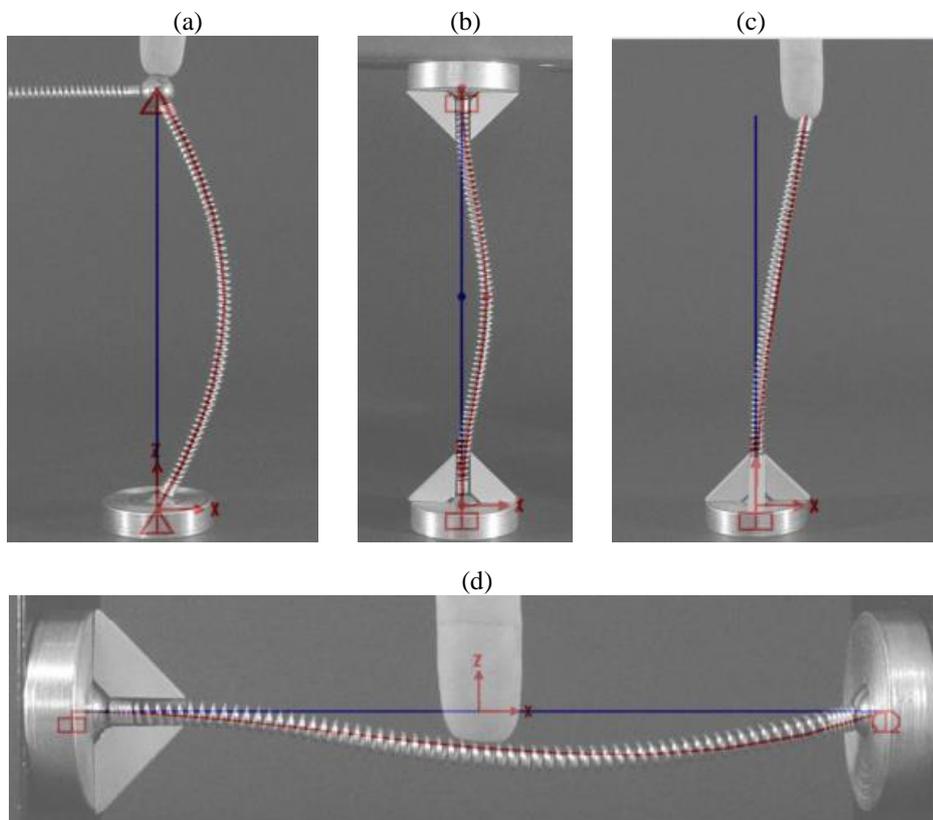


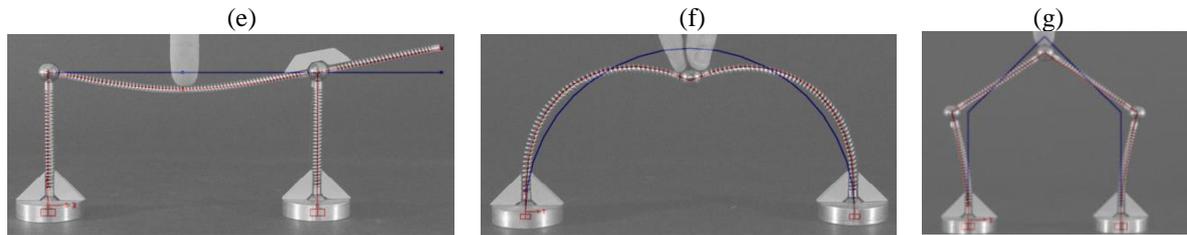
Fonte: Oliveira (2008)

No exemplo acima, é esperado que o estudante, ao observar a estrutura deslocada devido a aplicação do carregamento, perceba que a parte superior da viga está sendo comprimida e a parte inferior está sendo tracionada, conforme possível de se visualizar na figura 4 (b). Imaginando uma seção transversal imediatamente posterior ao ponto de aplicação da carga concentrada, verifica-se que essa configuração de tração e compressão descreve um momento fletor positivo. Assim, após a realização do experimento, é criado no aluno a intuição que esse tipo de carregamento proporciona uma reação de momento fletor positivo em vigas biapoiadas.

As estruturas montadas com o uso do Kit Mola ainda se mostram muito interessantes ao estudo proposto pela metodologia utilizada, por apresentarem resultados muito fieis ao comportamento real das estruturas.

Figura 5 – Deformação de estruturas montadas com o Kit Mola





Fonte: Oliveira (2008)

Observando as figuras (5) anteriores, percebemos que a deformação teórica das estruturas (linha vermelha) é muito semelhante à deformação ocorrida no modelo estrutural proposto por Oliveira. Isso permite que o aluno possa se basear no comportamento do modelo para compreender a mecânica envolvida e criar a sua própria intuição sobre o funcionamento da estrutura real.

3.3 Modelos desenvolvidos por alunos

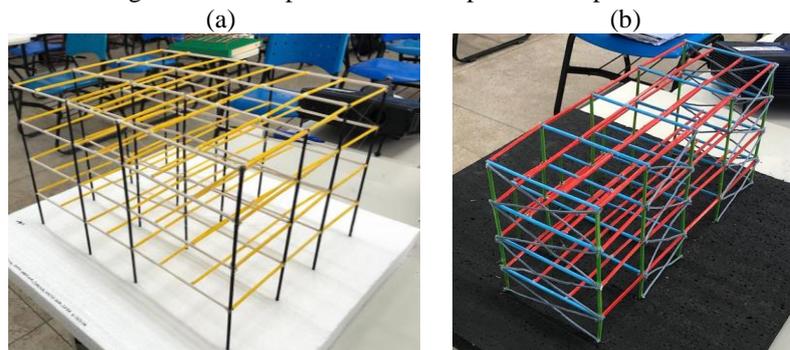
Além dos modelos adquiridos, o laboratório conta com várias maquetes estruturais produzidas por alunos. Todos os períodos, os alunos da disciplina Sistemas Estruturais II do curso de Arquitetura e Urbanismo, são incentivados a desenvolverem uma maquete estrutural de uma edificação. Esse projeto tem como objetivo concretizar o proposto na ementa da disciplina, conectando vários conceitos aprendidos ao logo do semestre.

Os alunos devem, através das orientações dadas pelo docente responsável, projetar uma edificação e fazer o pré-dimensionamento das estruturas em aço utilizando um software computacional acadêmico. São orientados ainda a calcular manualmente o pré-dimensionamento de alguns elementos estruturais específicos e fazer uma análise, comparando os resultados com o sugerido pelo software utilizado. Posteriormente, devem apresentar o projeto desenvolvido através de plantas de arquitetura e plantas de projeto, como plano de base, plano de vigas e elevações.

Por fim, uma maquete é construída utilizando palitos de madeira e isopor. Para isso, todos os conceitos e teorias adquiridos devem ser aplicados. Os modelos (Figura 6) ficam expostos no LabDEst e a disposição para serem utilizados por alunos e professores.

Este trabalho tem se mostrado relevante, pois, além de desenvolver maquetes que podem ser usadas posteriormente nas atividades do laboratório, auxilia os alunos na compreensão da teoria abordada em sala de aula. Além disso, o processo de desenvolvimento da maquete permite que o aluno junte em um único projeto inúmeros assuntos que são tratados isoladamente na teoria.

Figura 6 – Exemplos de modelos produzidos por alunos



Fonte: Autores (2020)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos estruturais são uma ótima forma de garantir um ensino com uma metodologia diferente da que os alunos estão acostumados, permitindo que os mesmos consolidem as informações adquiridas em sala de aula de uma maneira mais eficaz, descontraída e criativa.

O uso dos modelos estruturais existentes no LabDEst, mesmo que ainda em fase de implantação, já trouxeram resultados positivos, uma vez que os alunos se mostram muito mais interessados nas aulas práticas realizadas no laboratório e elogiam a utilização do mesmo.

A fidelidade com que os modelos estruturais TecQuipment e Mola Structural Kit refletem o comportamento das estruturas reais também permite grandes possibilidades de ensino, pois com eles não é necessário que o aluno imagine como a estrutura funcionará, basta apenas que ele utilize os modelos e, naturalmente, já vai associar os diferentes tipos de apoios, carregamentos e ligações com as alterações no comportamento da mesma. O material de apoio extra que está sendo desenvolvido para esses equipamentos contribuirá nas aulas práticas e na melhoria do ensino. Com o término das iniciações científicas em andamento, esse material estará disponível para a comunidade acadêmica.

Os números de retenções dos dois semestres de 2019, semestres de implantação do uso do LabDEst, já trazem resultados positivos em relação aos números de 2018, indicando possíveis melhoras no processo de ensino-aprendizagem a partir do uso do laboratório. Em Análise Estrutural I cerca de 63% foram convocados a prova final, enquanto em Mecânica dos Sólidos III esse número foi de 56%. Em comparação aos dados de 2018, esses números representam, respectivamente, uma diminuição de cerca de 7% e 17%.

Por fim, o Laboratório Didático de Estruturas tem possibilitado o surgimento de uma nova abordagem no aprendizado na área de estruturas na Universidade Federal do Espírito Santo. Além dos equipamentos utilizados no LabDEst, as atividades extraclasse, como monitorias e iniciações científicas, trazem benefício aos alunos, já que permite que tenham acesso ao LabDEst em horários alternativos as atividades programadas, possibilitando uma maior imersão em conceitos práticos e teóricos de estruturas e assim consolidar melhor os conteúdos adquiridos nas aulas.

4 REFERÊNCIAS

FTOOL: Interactive-Graphics Program for Structural Analysis. Version 4.0.3: Tecgraf / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.ftool.com.br/Ftool/>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

GEMIGNANI, E. Y. M. Y. Formação de professores e metodologias ativas de ensino-aprendizagem: Ensinar para a compreensão. **Revista Fronteira das educação**, Recife, v.1, n.2, 2012. Disponível em:<<http://www.frenteirasdaeducacao.org/index.php/fronteiras/article/view/14>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

HARRIS, H. G.; SABINS, G. M. **Structural modeling and experimental techniques**. 2nd ed. Flórida, EUA: CRC Press LLC, 1999.

MOURA, A. C. et al. Desenvolvimento de um modelo reduzido didático qualitativo e quantitativo de treliça plana. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE

ENGENHARIA (COBENGE-2016), 2016, Natal, RN, **Anais**. Natal: ABENGE, Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2016.

NAKAO, O. S. Os modelos físicos e o laboratório didático de resistência dos materiais. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE-2003), 2003, Rio de Janeiro, MG, **Anais**. Rio de Janeiro: ABENGE, Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2003.

NOVA DIDACTA. **Laboratório para ensaio de estruturas**. Disponível em: <<http://novadidacta.com.br/product/str1-moldura-para-ensaios-de-estruturas/>>. Acesso em 15 abr. 2020.

OLIVEIRA, M. S. **Modelo estrutural qualitativo para pré-avaliação do comportamento de estruturas metálicas**. 2008. 172 f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. 2008.

PINHEIRO, P. C. C. Desenvolvimento de protótipos: instrumento de motivação e ligação das disciplinas do curso de engenharia. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE-2000), 2000, Ouro Preto, MG, **Anais**. Ouro Preto: ABENGE, Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2000.

METHODOLOGY FOR TEACHING STRUCTURES WITH REDUCED MODELS

Abstract: *This article addresses the use of reduced models of structures such as arches, trusses, frames and beams in the teaching process of initial disciplines in the area of structures in the Civil Engineering and Architecture and Urbanism courses at Federal University of Espírito Santo (UFES). Using results from observations of methodology used in the academic community and retention numbers of initial disciplines in the structural area of the civil engineering, it presents an analysis of the use of reduced models and prototypes to improve the teaching-learning process and exposes the use of the new Structural Didactic Laboratory (LabDEst), recently installed by the Civil Engineering Department of UFES, and the services and materials available by it as options to complement the traditional teaching and provide students with greater interest in this area.*

Keywords: *Reduced Structural Models, Learning Methodologies, Civil Engineering, Architecture and Urbanism, Structures.*