



## MODELAGEM ARQUITETÔNICA, PROJETO DIGITAL E AÇÕES COLABORATIVAS

XAVIER, Ivan Silvio de Lima- *ivan\_xavier@id.uff.br*; ANDRADE, Clara Cataldi Milward -  
*clarinha\_cataldi@hotmail.com*; CANTREVA, Philipe Lopes - *pcantreva@gmail.com*

Universidade Federal Fluminense

### Resumo

Este trabalho apresenta as potencialidades da modelagem arquitetônica no processo de ensino na disciplina Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais - EAU, incorporando novos métodos de aprendizados utilizando os processos de referências circulares. A baixa qualidade dos projetos em termos de *design*, de representação e de compatibilização ainda são os principais problemas na arquitetura. Apesar dos modelos CAD, BIM e demais softwares, detectamos erros nos diversos tipos de projetos (arquitetura, estrutura, instalações prediais, etc.). A origem desses ocorre de forma sistemática e em função do desconhecimento das possibilidades estruturais e digitais associadas à não valorização dos sistemas de modelagem, e das ações colaborativas integradas neste processo que podem ser experimentados já no início da formação do futuro arquiteto. As experiências e os trabalhos realizados demonstram que esta combinação reforça os conceitos teóricos aumentando de forma significativa o potencial criativo em integração com o aprendizado dos sistemas estruturais.

**Palavras-chave:** modelagem, projeto digital, ações colaborativas.

### Abstract

This article presents the potentialities of architectural modeling in the learning process of Fundamentals of Structural Systems Modeling discipline - EAU, incorporating new learning methods, making use of circular references processes. The low quality of the projects in terms of design, representation and compatibility still are the major problems in architecture. Despite of CAD, BIM and other modeling software, mistakes were detected in many types of projects (architecture, structure, building installations, etc.). The origin of these occurs in a systematic way, due to the lack of knowledge of the structural and digital possibilities, associated with the non-valuation of the modeling systems and the collaborative actions integrated in this process, which can be experienced already at the beginning of the future architect's formation. The experiences and the tasks performed demonstrate that this combination reinforces the theoretical concepts, enhancing significantly the creative potential in integration with the learning of structural systems.

**Keywords:** modeling, digital project, collaborative actions.

## 1 Modelagem arquitetônica

O estudo dos Sistemas Estruturais no Curso de Arquitetura apresenta lacunas no que se refere ao entendimento dos seus principais conceitos e em muitos casos não incorpora os processos criativos para este aprendizado; o cálculo estrutural e as referências matemáticas são introduzidas aos alunos do primeiro período em disciplina ministrada pela escola de engenharia. Dessa forma o trabalho de Engel (2001) - *Sistemas Estruturais*, com a apresentação dos mecanismos *forma ativa, vetor ativo, massa ativa, superfície ativa e sistemas estruturais verticais* foi a fonte inspiradora para os alunos que desejavam uma nova metodologia no aprendizado dos sistemas estruturais na EAU (Escola de Arquitetura e Urbanismo).

O estudo, através da modelagem, mostrou-se mais promissor em relação ao entendimento de como a forma afeta a estrutura e vice-versa e, como irão ocorrer as deformações devido as cargas atuantes. A compreensão dos conceitos estruturais permite ao estudante produzir modelos de diferentes formas com *segurança, habilidade e agilidade*, proporcionando diversas vantagens no processo de aprendizado, como entender o comportamento do conjunto das forças estruturais.

No curso da EAU, ocorreu reforma curricular no ano de 2014, na qual novas disciplinas foram implementadas, com o objetivo de facilitar o entendimento de determinados conteúdos que antes eram vistos de maneira abstrata. A disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais foi incorporada à nova grade. Sua metodologia consiste na realização de croquis, maquetes e ferramentas digitais que promovem a criatividade e permitem ao aluno compreender o funcionamento das estruturas e de como as cargas se comportam nas mesmas, após o entendimento dos conceitos teóricos.

Como declarou Rebello: “Mas o que é a estrutura afinal? ...a estrutura se encontra em todas as áreas de conhecimento humano, e pode ser entendida como “um conjunto de elementos – lajes, vigas e pilares - que se inter-relacionam – laje apoiando em viga, viga apoiando em pilar - para desempenhar uma função” (REBELLO, 2000, p. 15).

Para o aprendizado das estruturas, a realização de desenhos, maquetes e a interpretação gráfica de projetos em plataformas digitais tem como objetivo mostrar como as forças atuam dentro daquele sistema e as possíveis soluções para eventuais problemas de sustentação sem perder o partido arquitetônico proposto.

Desta forma é possível o aprendizado por parte dos alunos das diferentes formas que um projeto pode tomar, dependendo do programa que se deseja seguir, da melhor proposta estrutural e da definição estética. De maneira complementar os

estudantes do primeiro período se apóiam no conteúdo da disciplina dos Sistemas Geométricos de Representação que é fundamental para a compreensão e a percepção das formas. Deste modo, na sistemática do ensino dos sistemas estruturais, somam-se os conceitos de ações colaborativas por meio do compartilhamento das experiências realizadas no ambiente coletivo, contribuindo para a melhoria do desempenho.

Este artigo aborda a integração da modelagem, projeto digital e ações colaborativas como uma nova ferramenta de pensar a arquitetura e os sistemas estruturais, não somente como sistemas separados, mas sim integrados conforme declara Rebello:

Na maioria das vezes, o ensino da estrutura pressupõe que existam duas vertentes de aprendizado: o da arquitetura e o da engenharia, sendo visto, contudo, como um grande equívoco, já que não há dois estudos separados para este mesmo assunto, havendo, talvez, somente uma diferença de aprofundamento (YOPANAN REBELLO, 2000, p. 15-21).

## 2 Revisão bibliográfica

A bibliográfica relacionada ao artigo encontra em Engel (2001) – Sistemas Estruturais a grande base teórica para a realização deste trabalho. A obra descreve de forma detalhada os principais sistemas estruturais (*forma ativa, vetor ativo, massa ativa, superfície ativa e sistemas estruturais verticais*) e como o entendimento destes contribui no ensino dos sistemas estruturais.

Nesta literatura diversos exemplos são demonstrados nos cinco sistemas. Além dos conceitos teóricos, a obra demonstra por meio de gráficos e imagens como as forças estruturais se comportam. Engel (2001) fundamenta a base sistemática do aprendizado explicando o que é significado e função, deixando claro que a estrutura ocupa na arquitetura uma posição que executa duas funções: outorgar existência e sustentar a forma, evidenciando que o agente responsável pela arquitetura, seu projeto e sua realização é o arquiteto. O autor relata ainda que o arquiteto deve desenvolver o conceito de estrutura para os seus projetos em linguagem profissional.

Além dos principais sistemas estruturais Engel (2001) apresenta os sistemas híbridos, combinados e sistemas de acoplamento. Na conclusão do livro descreve a forma estrutural, conceituando a geometria e a imagem de forças, as superfícies dobradas e planas, as superfícies curvadas simples, em cúpula e em sela.

Os exemplos de imagens e gráficos de forças foram experimentados pelos alunos no processo de modelagem realizados em sala de aula, ou seja, a prática verifica a teoria e a comprovação é realizada na aplicação do trabalho.

O texto de Rebello (2000), em relação a concepção estrutural e a arquitetura, estabelece uma visão geral das relações entre os materiais estruturais (madeira, aço e concreto armado) e as diversas variáveis de sua utilização, como esforços atuantes, formas das seções, forma de obtenção e aplicações.

Outro aspecto relevante do livro é o pré-dimensionamento dos diversos elementos estruturais, bem como o seu comportamento (*arcos, vigas, treliças, pilar, laje, associação de cabo, viga vierendel e pilar, abóbada, cúpula, chapas dobradas, etc.*), aplicação e limites de utilização.

Em relação à aplicabilidade o autor define claramente os limites em torno dos intervalos por meio de tabelas de pré-dimensionamento que ajudam o discente a entender os pontos de aplicação e de dimensionamento máximos e mínimos.

As tabelas são construídas de modo a facilitar o entendimento e a visualização da compatibilidade entre os sistemas estruturais e os diversos materiais. Outro aspecto interessante são as diversas possibilidades de associação de elementos construtivos por meio de várias intersecções entre os diversos elementos, com associações internas mais simples e complexas e ou com associações de arcos de concreto. Outra possibilidade é o uso de aço ou de madeira, com treliças de aço ou madeira e integração com cabos.

A obra de Rebello (2000) constitui referência importante para o aluno que esta iniciando os estudos da concepção estrutural e da arquitetura, revelando a importância do entendimento e da aplicabilidade do pré-dimensionamento, mostrando os elementos constituintes dos sistemas como formadores das composições arquitetônicas.

No texto de Hernandez-Ros (2008) O que é estrutura?, amplia-se o debate em relação à estrutura e à arquitetura como a ciência das estruturas e a origem do tratamento científico em relação ao problema estrutural, os requisitos estruturais, a estrutura resistente e o desenho das formas estruturais das edificações e a sua complexidade: “o desejo de desenhar estruturas com o menor volume possível de material conduz em geral a desenhos complexos” (HERNANDEZ-ROZ, 2008, p. 19).

O autor apresenta os modelos geométricos superficiais e tridimensionais, estabelecendo as relações entre espaço e movimentos e as suas respectivas deformações. Finalmente, Hernandez-Ros (2008) orienta para o processo de análises, ou seja, a verificação se a estrutura e cada uma de suas partes está em equilíbrio. Esta etapa é fundamental pois instrumentaliza o sistema de modelagem com importante referencial para entendimento dos sistemas estruturais.

### 3 Projeto digital

No cenário arquitetônico, a partir da última década do século XX, começam a surgir projetos com particularidades no sistema de produção. O desenho paramétrico, a fabricação digital, a automação, a aplicação de sistemas responsivos e a possibilidade de simulações tornam-se poderosos instrumentos de inovação tecnológica, os quais ainda são capazes de transformar as diretrizes dos atuais processos de representação.

O surgimento e o acesso facilitado aos equipamentos de ponta que ocorreram a partir da última década não provocaram ainda no ambiente acadêmico a experimentação de processos com estas tecnologias, com escopo e potencialidade de alterar o discurso arquitetônico e urbanístico do ensino. As universidades tem aberto o que podemos chamar de “ilha tecnológica” com laboratórios de design diferenciado e aparelhos de última geração que compõem uma ambiente criativo, oferecendo cursos na área do *design*, tecnologia e gestão. Esses laboratórios oferecem também criação gráfica, *design* de serviço, *marketing* de relacionamento e *design thinking*, com objetivo específico de aprender de forma prática e acessível as inovações tecnológicas, fundamental para a ampliação deste universo.

Temos consciência de que o entendimento deste novo ferramental é capaz de influenciar e alterar a nossa capacidade projetual, modificando os processos de representação e de utilização de materiais, bem como reformulando o processo produtivo e o entendimento da forma arquitetônica.

Esta realidade estabelece um desafio nos sistemas atuais de ensino e pesquisa e nos oferecem os recursos para definir uma nova linguagem de aprendizado na arquitetura. Verifica-se uma discussão ainda rarefeita e lenta no sentido de incorporar estes processos no ambiente da escola de arquitetura e urbanismo.

Alguns desses tópicos de interesses nos envolvem e temos consciência de sua importância. O estudo do desenho paramétrico, desenho generativo, fabricação digital, modelagem paramétrica, desenho responsivo, interação humana robótica e ambientes de simulação é fundamental no processo projetual.

A nossa experimentação consiste em demonstrar a partir da teoria dos sistemas estruturais dos edifícios (ENGEL, 2001) como os mecanismos se comportam e suas diferentes tipologias e técnicas. A técnica se inicia de diversas formas, não existindo modelo previamente definido. As referências circulares são as fontes inspiradoras neste processo. Podemos começar por um vídeo de apresentação de uma obra arquitetônica, (Zaha Hadid Architects – Edifício Bee’ah) ou vídeo que demonstre a potencialidade da aplicação do bambu (Elora Hardy: Magical houses,

made of bamboo - TED) ou simplesmente fornecer um projeto em CAD (Casa Y – Chita, Aichi. Japão). Estes exemplos podem ser explorados para o desenvolvimento da modelagem do sistema estrutural, para a elaboração de modelos de releitura de determinado projeto arquitetônico ou apenas observar e desenhar o modelo arquitetônico no campo.

Segundo Senett (2012), o arquiteto Renzo Piano explica da seguinte maneira o seu método de trabalho.

Começamos fazendo esboços, depois traçamos um desenho e em seguida fazemos um modelo, para então chegar a realidade – vamos ao espaço em questão -, voltando mais uma vez ao desenho. Estabelecemos uma espécie de circularidade entre o desenho e a concretização e de volta novamente ao desenho. Sobre a repetição e a prática, observa Piano: “É perfeitamente característico da abordagem do artífice. Ao mesmo tempo pensar e fazer. Desenhamos e fazemos. O ato de desenhar (...) é revisitado. Fazer, refazer e fazer mais uma vez (SENNETT, 2012, p. 52).

As referências circulares ou a circularidade ajuda neste processo “o medo de cometer erros é de vital importância em nossa arte (...) para atingir esta meta, o processo de trabalho precisa fazer algo que desagrade à mente organizada: conviver temporariamente com a bagunça” (SENNETT, 2012, p.181).

As atividades são contínuas na sala de aula, laboratório e no campo, a cada semana um novo desafio. O produto de cada aluno nesta etapa busca uma personalidade própria, uma marca registrada, um design novo e inspirador. Se a nossa atividade fosse somente pautada pelo CAD, estaríamos remontando alguns problemas básicos ligados inicialmente pela subutilização do software, como problemas de compreensão entre as diversas etapas do projeto e a visão limitada da imagem na tela, com os efeitos do zoom que escondem os problemas e as falhas de projeto. Também podemos citar os diferentes pontos de vista pelo “*girar da imagem*”, as falhas de precisão pela inserção dos pontos referenciais que aparentemente podem estar corretos mas que no detalhamento do zoom nos mostra imprecisão. Outro fator relevante é a desconexão que envolve a avaliação das proporções que se apresenta na tela do projetista pelo manuseio das possibilidades de uso de diferentes escalas, e que jamais será substituído pela observação de alguém que está no campo que executa o desenho, e que constrói o modelo, ou seja, o que aparece na tela representa soluções que nunca se verificarão na visão experimentada do campo e do modelo.

A experimentação da circularidade no ambiente coletivo da sala de aula, do laboratório e do campo possibilita a interação e a troca entre os indivíduos, ao nível das experiências e dos resultados finais. O trabalho final exige o modelo, a

apresentação digital e verbal, o conhecimento da teoria da concepção estrutural e as referências arquitetônicas e bibliográficas além do processo de realização. Todo o desenvolvimento é interativo e a criação dos grupos geram conhecimento e inovação.

#### **4 Ações colaborativas**

Atualmente já é consenso que grupos de profissionais e de empresas compartilhem conhecimento sobre determinada área específica e/ou situação problemática, sendo que os participantes esperam realizar as melhorias com base no que aprenderam com o grupo (BOXWELL, 1994). O compartilhamento de conhecimento por meio do *benchmarking* é fundamental para o desenvolvimento de indicadores, permitindo comparação de desempenho, compartilhamento de práticas relativas ao processo projetual, processos gerenciais e de indicadores nas ações relativas ao projeto arquitetônico, construção e à sustentabilidade.

A criação de grupos de *benchmarking* colaborativo pode ser centrada tanto nos indivíduos participantes quanto empresas e instituições. No processo projetual por exemplo, por meio de redes sociais na internet é possível receber: sugestões de ideias úteis para a concepção, necessárias ao processo de criação; formas e modelos de representação, as unidades do projeto, áreas privativas e coletivas do projeto, tecnologia a ser utilizada, sistemas de planejamento, gerenciamento e sustentabilidade.

Posteriormente constitui-se as atividades inerentes à criação de toda a infraestrutura necessária por meio de ações colaborativas pela apropriação de materiais locais, sistemas eficientes para construção de equipamentos solares, sistemas alternativos de saneamento, reciclagem e abastecimento de água, reaproveitamento de rejeitos da construção civil e beneficiamento da matéria prima local.

A criação de grupos de *benchmarking* colaborativos envolve a concepção de projetos de design inteligente, implementação e avaliação. Com a adoção destas ações, associadas ao processo de modelagem, representação gráfica digital e de desenvolvimento tecnológico geram conhecimento, inovação e dão transparência ao processo, estabelecendo um ambiente aberto, igualitário e de confiança para as trocas e principalmente gera compromisso entre os participantes.

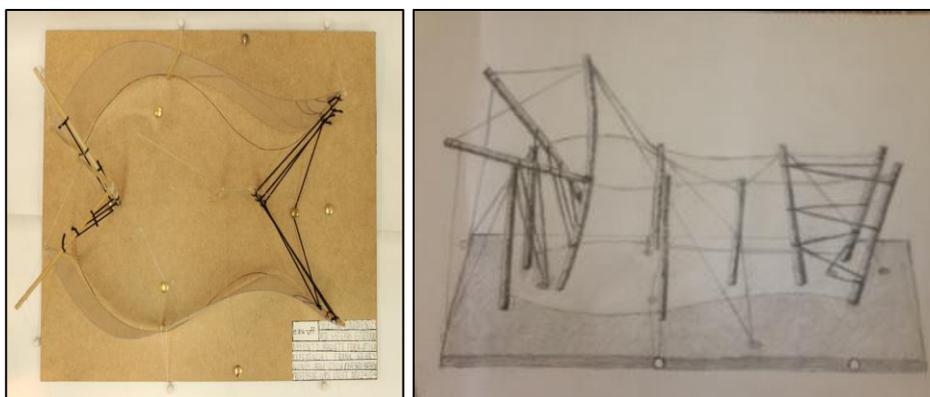
## 5 A aplicação da modelagem

A aplicação da modelagem nas atividades coletivas em sala de aula é o momento crucial para o verdadeiro entendimento do conteúdo teórico que o aluno experimenta. É através dos materiais escolhidos, da concepção gráfica do projeto e o modo como as amarrações, articulações e a fixação do projeto à base são feitas que a forma arquitetônica é organizada no espaço disponível, seguindo os parâmetros estruturais propostos. O modelo elaborado serve para o aluno verificar a estabilidade e a eficiência de seu projeto. É o momento de tensão, experimentação e medo. A constatação realizada no ambiente se caracteriza pela apreensão e muitos discentes acreditam que o produto não saíra do papel. A circularidade desenha, experimenta, desmancha, redesenha e constrói várias vezes – o medo é eliminado e a criação surge! É o êxtase!

Trata-se de um intenso exercício de tentativa e erro que acontece devido a distribuição de forças ao longo do sistema criado, considerando que as cargas simuladas nos modelos irão se comportar diferentemente, de acordo com o tipo de estrutura estudado. Dessa forma, a disciplina fornece uma base de como tais formas se comportariam na construção real.

É de máxima importância, portanto, que qualquer um preocupado com o desenho de estruturas deva ter a habilidade de visualizar como uma estrutura irá se comportar em um determinado cenário de circunstâncias, e como a forma da estrutura irá influenciar este comportamento. O desenhista deverá desenvolver um sentimento intuitivo para o comportamento estrutural para que quando todas as escolhas importantes da forma estrutural a ser usada, serem tomadas, sejam tomadas corretamente. O resultado satisfatório de um projeto em termos da estética, economia e segurança depende desta importante decisão (HILSON, 1993, p.3).

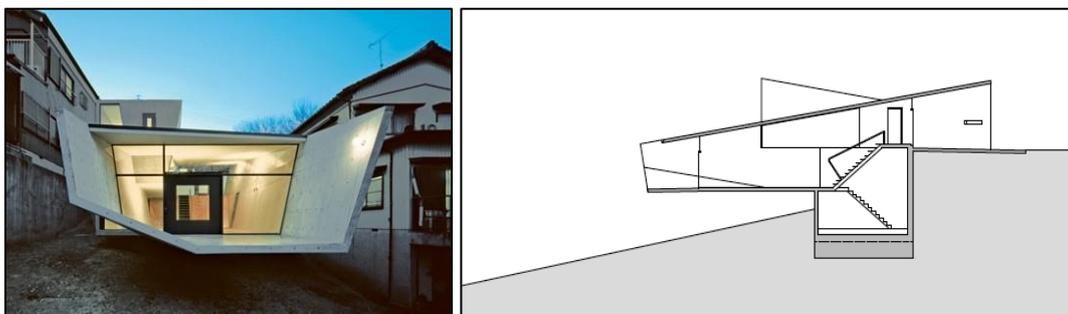
Figura 1: Trabalho de modelagem



Fonte: Fundamentos para modelagem dos sistemas estruturais 2017-1 EAU

A atividade de modelagem associada ao desenho e o entendimento da linguagem digital permite romper barreiras de complexidade estrutural e arquitetônica por meio da circularidade das diversas atividades conforme sugere Renzo Piano para a concepção projetual do arquiteto.

Figura 2: Projeto selecionado para a atividade de modelagem



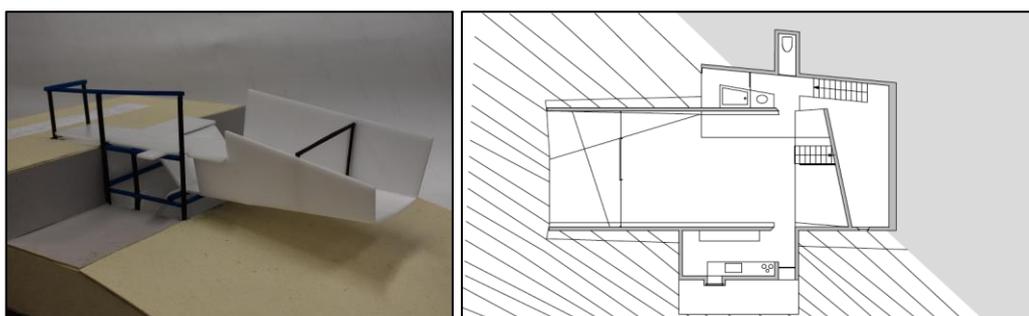
Fonte: Casa Y – Chita, Aichi, Japão – MacLeod (2009).

A partir da seleção de projeto com busca livre na internet das imagens e o fornecimento do projeto eletrônico em CAD, o desafio proposto aos alunos é a constituição e o entendimento dos sistemas estruturais a partir dos dados fornecidos no sentido da constituição da concepção do sistema estrutural.

O trabalho teve início e a primeira dificuldade foi o manuseio do sistema CAD, uma vez que o projeto definido não continha parâmetros e informações dimensionais e muitos alunos deste primeiro período não tinham conhecimento de como utilizar o sistema digital. Superada a etapa inicial de entendimento do projeto e do próprio dimensionamento projetual, iniciou-se a etapa de conceituação do sistema estrutural e de como o autor do projeto conseguiu resolver o problema estrutural diante da forma e do material utilizado na construção.

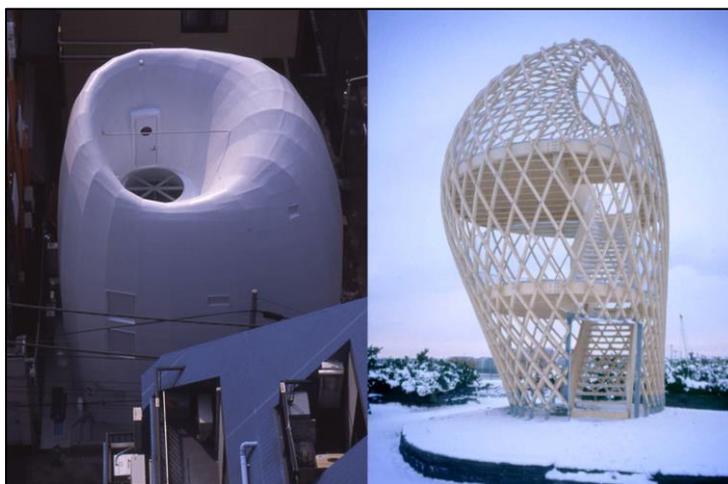
O entendimento destes aspectos possibilitou aos alunos desenvolverem a próxima etapa do trabalho, com a construção e modelagem do referido projeto em escala apropriada que demonstrasse claramente o sistema estrutural do edifício.

Figura 3: Modelo elaborado a partir do projeto CAD fornecido



Fonte: Fundamentos e modelagem dos sistemas estruturais 2016-2 EAU e MacLeod (2009).

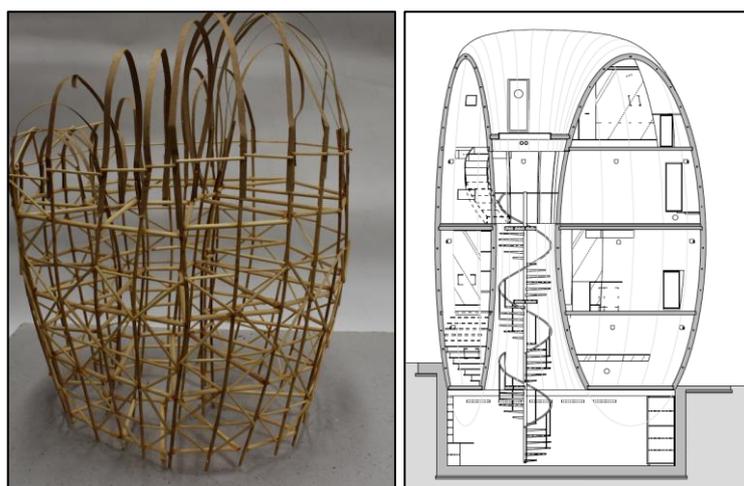
Figura 4: Projeto selecionado para a atividade de modelagem



Fonte: Casa Elipse Natural Tóquio, Japão - MacLeod (2009).

A elaboração dos trabalhos pela maioria dos estudantes ocorreu por meio da experimentação das circularidades apresentadas através do entendimento do projeto, a partir da gráfica digital e a sua consolidação na modelagem por meio do experimento nos modelos. As diversas tentativas complementadas pelo debate teórico dos sistemas estruturais e a sua concepção associada às ações colaborativas entre os participantes do grupo contribui para a criação de modelo do referido projeto com características estruturais claras e adequadas, consolidando o aprendizado.

Figura 5: Modelo elaborado a partir de projeto CAD fornecido

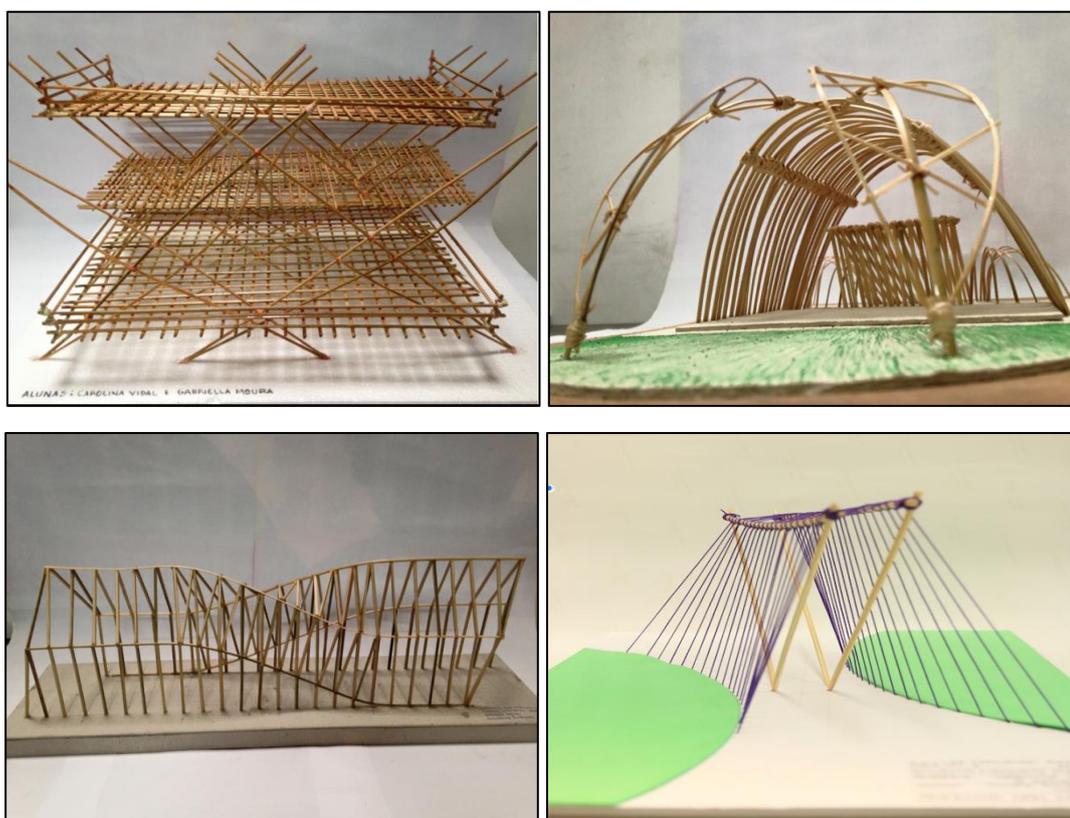


Fonte: Fundamentos e modelagem dos sistemas estruturais 2016-2 EAU e MacLeod (2009).

A atitude experimental, a repetição a cada etapa e a aplicação dos cinco sistemas estruturais proposto por Engel (2001) consolida a experiência e o avanço sistemático gerando novas possibilidades de criação. Os aspectos criativos vão se concretizando com as novas formas estruturais onde podemos comprovar no modelo os requisitos estruturais: resistência, rigidez e estabilidade.

A experiência é concluída quando os grupos envolvidos nos trabalhos concebem os modelos com estrutura diferenciada, verificando a possibilidade de aplicações com outros materiais, melhorando a qualidade do desenho e do modelo.

Figura 6: Modelo elaborado a partir de projeto CAD fornecido



Fonte: Fundamentos e modelagem dos sistemas estruturais 2016-2 EAU

## 6 Conclusão e recomendações

A introdução da multiplicidade de tarefas no ambiente de colaboração embasada nas referências teóricas estimularam o aprendizado na área de conhecimento dos sistemas estruturais. A introdução aos alunos do projeto digital (CAD) com leitura e entendimento, o projeto de representação (desenhos e croquis), a modelagem, e suas experimentações estruturais associados aos conceitos de Engel (2001) fez surgir a criatividade na disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais da EAU.

A resistência em relação ao desafio de aprendizado dos sistemas estruturais foi superada com a diversidade vivenciada em cada aula. O medo desapareceu e a circularidade dos processos possibilitou novas descobertas e talentos. Debruçados sobre o ato da repetição e experimentos com materiais diversificados, os resultados geraram conhecimento e motivação. Lemos, desenhamos e fazemos. O ato de projetar, aprender é revisitado.

## Agradecimentos

Aos monitores e a todos os alunos da disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais da EAU-UFF.

## Referências

BOXWELL, Robert. **Benchmarking for a competitive advantage**. McGraw Hill, 1994.

ENGEL, Heino. **Sistemas estruturais**. Versão portuguesa de Esther Pereira da Silva, arqta. Editorial Gistavo Gili, SA, Barcelona, 2001.

HERNÁNDEZ-ROZ, Ricardo Aroca. **Que es estrutura?** Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Cuaderno 60.01 / 1-16-08.

HILSON, Barry. **Basic Structural Behavior: Understanding from Models**. London: Thomas Telford, 1993.

REBELLO, Yopanan. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora. 2000.

SENNET, Richard. **O artífice**. Tradução de Clóvis Marques. – 3ª ed. – Rio de Janeiro: Record, 2012.

MACLEOD, Virginia. **Detalhes construtivos da arquitetura residencial contemporânea**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009.