



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

Relações entre forma e estabilidade – experiências didático-pedagógicas no Canteiro Experimental com ênfase em sistemas estruturais

Interrelations between form and stability – pedagogic experiences at Experimental job site with emphasis on structural systems

Las relaciones entre forma y estabilidad – experiencias pedagógicas en Sitio Experimental con énfasis en los sistemas estructurales

MODLER, Nébora Lazzarotto

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal da Fronteira Sul, nebora.modler@uffs.edu.br

MODLER, Luís Eduardo Azevedo

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal da Fronteira Sul, luis.modler@uffs.edu.br

RESUMO

O componente curricular Canteiro Experimental II do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim objetiva proporcionar a experimentação acerca do funcionamento das estruturas na arquitetura, bem como avaliar a intrínseca relação entre as formas arquitetônica e estrutural, através de exercícios práticos em que os estudantes são desafiados a criar, construir, testar e elaborar críticas sobre as próprias decisões projetuais e construtivas (RONCONI, 2008, p:8). O presente artigo busca apresentar o relato sobre a proposta pedagógica utilizada no referido componente curricular, bem como avaliar seus resultados enquanto possibilidade de apreensão por parte dos estudantes dos conceitos relacionados à estabilidade estrutural e à sua relação com a arquitetura como proposta formal. Os resultados apresentados demonstram que a experimentação a partir de modelos estruturais em várias escalas auxilia na apreensão mencionada por parte dos estudantes. Além disso, reforçam a necessidade de se ampliar ainda mais a sinergia entre a arquitetura e a estrutura como elementos da mesma concepção.

PALAVRAS-CHAVE : ensino/aprendizagem em arquitetura, experimentação, equilíbrio.

ABSTRACT (100 to 250 words)

The subject Experimental Job Site II of the Architecture and Urbanism course of UFFS - campus Erechim has as its aim offering the experimentation about the structures behaviour in Architecture, and also evaluating the intrinsic relation between the architectonic and structural forms, by practical exercises during which the students are challenged to create, build, test and criticise their own projectual and constructive decisions . This paper looks for presenting the pedagogic plan used at the subject, and also evaluating its results while possibility of understanding the concepts related to the structural stability and to its connection to architecture as formal proposal. The presentes results show that the experimentation using structural models in various scales, facilitates the students understanding already mentioned . Besides, the results confirm the necessity of amplifying even more the sinergy between architecture and structure as elements from the same conception.

Key-words: architectural education/learning ; experimentation ; balance.



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

RESUMEN (100 a 250 palabras)

La disciplina de Construcción Experimental II del curso de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Federal da Fronteira Sul (UFFS) del Campus Erechim tiene como objetivo proporcionar experiencias acerca de las estructuras arquitectónicas y evaluar la relación intrínseca entre las formas arquitectónica y structural a través de ejercicios prácticos para que los alumnos sean desafiados a crear, construir, poner a prueba y desarrollar un pensamiento crítico sobre sus propias decisiones proyectivas y constructivas (RONCONI, 2008, p.8). El presente artículo busca presentar un relato sobre la propuesta pedagógica utilizada en esta disciplina así como evaluar sus resultados en cuanto posibilidad de aprendizaje de los alumnos, en particular de los conceptos relacionados con la estabilidad estructural y su relación con propuestas formales de la Arquitectura. Los resultados presentados muestran que las experimentaciones con modelos estructurales en varias escalas auxilian en la comprensión por parte de los estudiantes. Además, refuerza la necesidad de ampliar aún más la sinergia entre la arquitectura y la estructura como elementos del mismo diseño.

PALABRAS-CLAVE: enseñanza / aprendizaje en la arquitectura; experimentación; equilibrio

1 INTRODUÇÃO

A relação entre a forma arquitetônica e os sistemas estruturais que a estabilizam é tema de discussão de longa data na história da arquitetura. A este respeito Charleson (2009; p:29 e 30) apresenta afirmações como a de Viollet-le-Duc que nos diz: “Imponha-me um sistema estrutural e naturalmente encontrarei as formas que devem resultar. Mas, se você mudar a estrutura, serei obrigado a mudar as formas.” Ainda na mesma obra encontram-se as palavras de Pier Luigi Nervi: “a aparência externa de uma boa arquitetura não pode e não deve ser nada mais do que a expressão visível de uma realidade estrutural ou construtiva eficiente.”

O Projeto Pedagógico do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL (2010) determina que em cada fase do curso seja desenvolvida uma integração horizontal dos componentes curriculares determinando, para tanto, uma ênfase específica. Na quarta fase, a ênfase é centrada na estrutura, sendo que a referida integração envolve os componentes História da Técnica, Projeto Arquitetônico e os Sistemas Estruturais, Introdução à Análise de Estruturas e Canteiro Experimental II.

O componente curricular Canteiro Experimental II objetiva proporcionar a experimentação acerca do funcionamento de estruturas, bem como avaliar a intrínseca relação entre as formas arquitetônica e estrutural, através de exercícios práticos em que os estudantes são desafiados a criar, construir e elaborar críticas sobre as próprias decisões projetuais e construtivas, isto é: busca-se a apreensão do conhecimento através do erro e do acerto (RONCONI, 2008, p:8).

Assim, no presente trabalho, apresentam-se as experiências didático-pedagógicas desenvolvidas no referido componente as quais estiveram centradas no desafio de construir junto ao aluno um entendimento acerca da relação entre forma e estabilidade na arquitetura.

2 METODOLOGIA DE ABORDAGEM DIDÁTICO PEDAGÓGICA

O plano de ensino do componente curricular Canteiro Experimental II adotou como prática metodológica o desenvolvimento de três módulos de atividades, quais sejam: **o equilíbrio da forma, a rigidez de conjunto e a rigidez da forma**. A turma foi, assim, dividida em grupos de trabalho, os quais eram desafiados a formalizar sua proposta a partir de um plano de ação o qual deveria conter a descrição da solução, bem como os métodos a serem utilizados para a construção dos mesmos. Além disso, em determinados momentos, a depender da escala de construção e do tempo disponível para cada exercício, a turma deveria escolher, dentre as propostas apresentadas por todas as equipes, quais deveriam ser executadas pelo grande grupo.

A confecção do plano de ação das equipes em cada exercício representa a possibilidade de exercitar não somente o ato projetual, mas também o trabalho em equipe, a capacidade de antever os problemas construtivos, de buscar soluções viáveis e de planejar suas ações a partir de então. Os planos deveriam conter esquemas executivos, croquis, além de uma breve explicação sobre o funcionamento da estrutura ser construída. Além disso os alunos deveriam, de forma individual, apresentar em forma de relato todas as etapas das atividades, incluindo o plano de ação, em um Caderno de Experimentos a ser entregue para análise dos professores. O Cadernos de experimentos representa a transcrição das percepções, aprendizagens e conclusões do aluno através de suas próprias palavras a respeito dos conteúdos apresentados e dos exercícios executados.

A seguir são descritos os procedimentos didático-pedagógicos adotados no componente curricular.

Módulos de abordagem do conteúdo

O componente curricular Canteiro Experimental II foi formatado a partir de uma carga horária de 60 horas-aula, sendo ofertado em um turno por semana, contando, então, cada encontro com 4 horas. Optou-se por apresentar aos alunos um rol de atividades a serem desenvolvidas a partir de três módulos de conteúdos atividades: **o equilíbrio da forma, a rigidez de conjunto e a rigidez da forma**. Cada um dos módulos compreende um conjunto de aulas teóricas sobre os conceitos e fenômenos que devem ser envolvidos na concepção, construção e funcionamento das estruturas, além dos

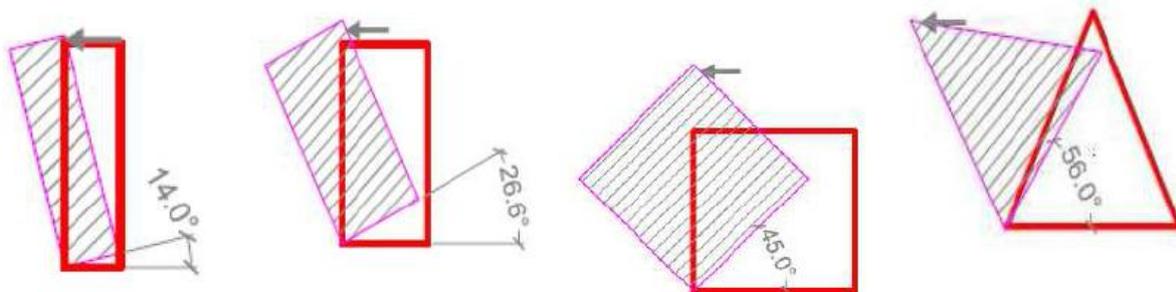
exercícios práticos de construção de propostas estruturais e arquitetônicas a partir de critérios e condicionantes previamente estabelecidos.

Módulo 1 – O equilíbrio da forma

Este módulo de abordagem buscou demonstrar a interferência da forma externa de uma proposta arquitetônica na sua estabilidade global. Para tanto alguns conceitos foram introduzidos no intuito de situar o raciocínio dos alunos frente às possibilidades de interferência na estabilidade a partir de suas decisões de projeto. Foram abordados, então conceitos relativos a, por exemplo, centro de gravidade, alinhamento de forças e momento de uma força.

Ainda foram apresentados aos alunos modelos teóricos gráficos e físicos que exemplificam a estabilidade global de volumes tridimensionais através da maior ou menor resistência ao giro quando atua sobre os mesmos uma força horizontal aplicada no seu topo. É possível concluir que a forma escolhida influencia diretamente na estabilidade quando se compara, neste exemplo simples, um triângulo (ou pirâmide) com um retângulo (prisma de faces paralelas), ou mesmo dois retângulos com relações base X altura diferentes. A figura 1 ilustra esta demonstração.

Figura 1: Limite do equilíbrio das formas



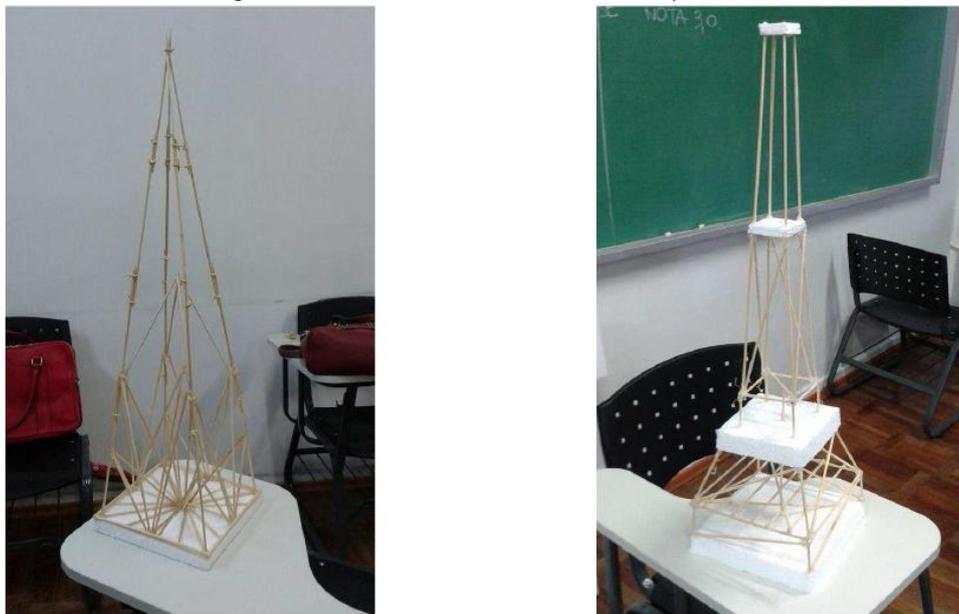
Fonte: Os autores.

O módulo 1 foi composto por uma sequência de três exercícios elaborados em cada um dos grupos a partir do trabalho de todos os seus membros:

- **torre de palitos.** Proposta de construção em maquete de uma torre com a maior altura possível utilizando como materiais somente palitos de churrasco, placas de poliestireno e material de união como cola quente e fita adesiva. Foi proposta a construção de uma torre a partir de uma base de no máximo 20 cm de lado ou 20 cm de diâmetro. Após a construção, que deveria ser concluída no mesmo encontro, a torre era inclinada a partir da elevação de um dos lados de sua base até que este

mesmo lado se distanciasse 10 cm do seu apoio sem que a mesma sofresse tombamento. Naqueles casos em que o objetivo fosse alcançado era anotada a altura final a ser confrontada com as demais torres. Neste exercício foram avaliados, além da altura final, a plasticidade arquitetônica da proposta compreendendo harmonia e continuidade. A figura 2 apresenta um exemplo das propostas executadas.

Figura 2: Torre em altura – exercício forma e equilíbrio



Fonte: Os autores

- **proposta e construção de um arco composto por blocos de concreto sem argamassa.** Aqui a proposta foi de construir um arco a partir do método de avanços sucessivos entre os blocos em uma razão pré-determinada para cada grupo (balanços entre fiadas de bloco de $1/3$, $1/2$ e $2/3$ do comprimento de cada bloco), utilizando blocos de concreto ou cerâmica. Como as condições iniciais de construção eram diferentes para cada grupo, o trabalho não foi avaliado pelo resultado final, mas pela busca de soluções para as condições impostas, especialmente as formas encontradas para estabilizar a estrutura durante a construção. Ao final cada pórtico deveria sofrer uma prova de carga e manter-se íntegro. As imagens apresentadas na figura 3 apresentam alguns dos pórticos construídos além da aplicação de carga sobre um deles.

Figura 3: Pórticos de avanços sucessivos



Fonte: Os autores.

- **proposta e construção de um arco composto por blocos unidos por argamassa mista.**

Neste exercício o arco a ser construído deveria vencer um vão de 1,5 m. Cada grupo, optou pela construção de um tipo de arco, salientando-se que tal opção deveria levar em consideração o material escolhido além do tempo atribuído para a execução do mesmo. Ao final, o trabalho foi avaliado a partir de critérios ligados à forma alcançada, sua estabilidade global, complexidade da proposta e resultado geral, como pode ser visualizado na figura 4..

Figura 4 Arcos de blocos e argamassa

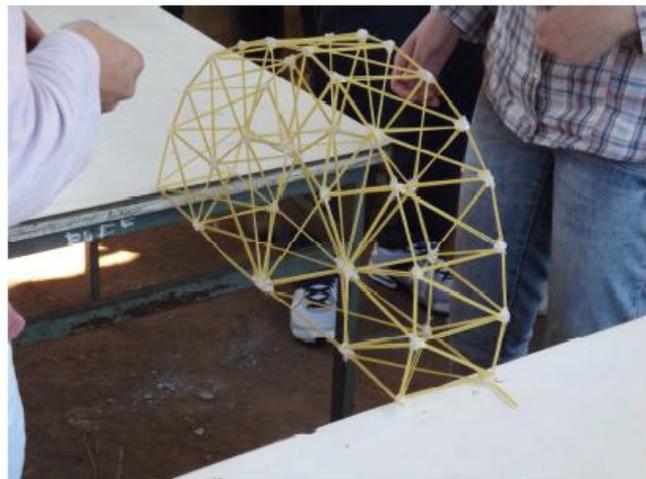


Fonte: Os autores.

Neste módulo de abordagem buscou-se demonstrar a possibilidade de se alcançar maior estabilidade através do trabalho solidário entre elementos estruturais, visando, de forma consecutiva, a melhor solução arquitetônica. Foram introduzidos conceitos ligados aos esforços de compressão e tração, importância das ligações entre elementos estruturais, caminhamento e vetorização de forças. Foram propostos os seguintes exercícios:

ponte treliçada de macarrão. Neste exercício o objetivo proposto foi o de vencer um vão de 50 cm e suportar uma carga centrada que deveria ser a maior possível, através da construção de uma ponte treliçada usando peças de macarrão unidas com cola quente. Algumas restrições foram impostas ao projeto, sendo que ao final a ponte seria composta por duas treliças iguais dispostas paralelamente uma em relação à outra com um nó central em cada uma para fixação da carga de teste. Neste momento avaliou-se a proposta de treliça adotada pelos grupos no que toca à sua estética, alinhamento entre outros critérios bem como a amplitude da carga suportada antes da ruptura da mesma. Na figura 5 são apresentados dois dos exemplos propostos pelos grupos de trabalho.

Figura 5: Exemplo de fotografia



Fonte: Os autores

treliça de bambus. Este exercício contou com os mesmos objetivos do exercício anterior, aumentando, contudo, a escala de construção. O intuito principal era salientar a importância das ligações entre as barras e do alinhamento do plano da treliça na estabilidade lateral da mesma e

como estes dois quesitos influenciam no desempenho estrutural da treliça construída. Foram avaliados os seguintes aspectos: desenho geral da treliça, seu alinhamento, adequação das ligações, além da carga total aplicada antes da perda de estabilidade. A figura 6 mostra uma treliça proposta em estado de repouso e com aplicação das cargas de teste.

Figura 6: Treliça de bambu e teste de carga



Fonte: Os autores.

cúpula treliçada. O exercício teve como objetivo cobrir uma área com 5 m de diâmetro, utilizando uma cúpula treliçada construída a partir de barras de bambu e ligações com conexões feitas com PVC fixadas às extremidades de cada uma das barras e unidas umas às outras através de barras rosqueadas. A execução envolveu toda a turma devido à amplitude da proposta e buscou-se demonstrar a possibilidade de se obter uma grande estabilidade a partir da ligação de barras esbeltas com conexões pontuais e utilizando-se uma geometria adequada. Os estudantes foram convidados a elaborar o plano de ação a partir do cálculo, feito a partir de um software específico, das dimensões e quantidades de cada tipo de barra. São apresentados na figura 7 uma visão da cúpula finalizada e um detalhe das ligações utilizadas na construção.

Figura 7: Cúpula treliçada e detalhe dos nós



Fonte: Os autores.

Módulo 3 – A rigidez da forma

Neste módulo foram introduzidos conceitos relativos ao aumento da inércia geométrica, momento de inércia, raio de giração, entre outros, sempre no intuito de verificar como a forma pode conduzir a elementos dotados de grande rigidez mesmo que apresentem pequenas espessuras. O exercício proposto neste módulo foi a execução de superfícies em dupla curvatura executadas em argamassa armada. Neste ponto buscou-se a avaliação de critérios ligados ao acabamento superficial da estrutura proposta e área a ser coberta. Este exercício propiciou uma maior autonomia aos estudantes na proposição do objeto a ser construído, sendo de sua responsabilidade o equacionamento dos problemas impostos à execução da proposta a quais se apresentava com maior complexidade em relação aos exercícios anteriores. Tais problemas, em todos os casos residiam na execução de fôrmas e escoramentos, meios de fixação da malha metálica, além do lançamento da argamassa sobre as fôrmas. Também foi necessário resolver questões relativas à produção da argamassa, como transporte de material, peneiramentos da areia entre outras. Nas imagens apresentadas na figura 8 aparecem dois momentos da execução de um parabolóide hiperbólico.

Figura 8: Parabolóide hiperbólico



Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propostas apresentadas pelos grupos em cada um dos exercícios foram, em sua imensa maioria, formalmente adequadas a partir dos requisitos que cada um dos elementos projetados deveria comportar. Além disso, os estudantes buscavam exprimir sua criatividade e suas características pessoais sob o aspecto projetual através do exercício a que eram desafiados a realizar. Desta forma, como se esperava, as propostas dos grupos diferiam de forma substantiva umas em relação às outras. Tais diferenças apresentavam-se, em primeiro foco, a partir da forma escolhida para cumprir os requisitos impostos no lançamento de cada exercício, como, por exemplo, o desafio de vencer um determinado vão. Contudo os estudantes eram convidados a todo o momento a observarem nas suas propostas, bem como nas dos demais grupos, como a forma e a configuração escolhida interferiria no desempenho da estrutura e como suas decisões arquitetônicas sofreriam forte influência da tipologia estrutural definida a priori.

É importante salientar o ganho qualitativo da percepção dos estudantes, a ressaltar, adentrando a quarta fase do curso, acerca do comportamento de estruturas de certa complexidade e, principalmente, dos condicionantes que se impõem no incremento do desempenho das estruturas projetadas e construídas.

Em termos de análise de resultados pode-se citar de forma destacada alguns exercícios em que tais ganhos de percepção foram observados de forma muito intensa.



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

-torre de palitos e placas de poliestireno – tão logo os alunos tiveram contato, com conceitos relativos a centro de gravidade e estabilidade global de formas conhecidas, fez-se presente a percepção de que a ação de aproximar o centro de gravidade de um determinado volume de sua base o torna mais estável ao giro, evitando, portanto seu tombamento. Ao projetar este entendimento na sua proposta, as torres adquiriram, de imediato, formatos aproximadamente piramidais. Contudo, ao perceberem que esta não representava a única ação capaz de elevar seu “edifício” além daqueles apresentados pelos colegas, surgiram proposta em que havia, para além do formato, uma maior concentração de massa próxima à base, jogando para os níveis mais elevados os espaços menos densos. Neste ponto surge outro entrave. A falta de matéria ou massa nos níveis mais elevados da torre dificulta a estabilidade construtiva do conjunto, fragilizando a proposta. Então cada grupo, frente a tais problemas, precisa decidir em quais termos deve focar sua proposta que necessita ser a mais estável, com a maior altura e manter-se íntegra durante seu transporte até a superfície de teste e durante o próprio teste. O que se pode perceber é que a simplicidade aparente do exercício proposto obteve por parte dos alunos respostas dotadas de importante grau de complexidade visto que buscaram adequar a proposta formal à estabilidade requerida com medidas específicas voltadas para este fim.

Treliça de bambu – a necessidade de vencer um determinado vão e a possibilidade de projetar a estrutura treliçada de forma livre e autônoma levou os alunos a apresentarem muitos esboços da estrutura a ser executada. Contudo, os primeiros condicionantes externos como o tempo de execução e o tipo de material à disposição já acabaram por condicionar as formas resultantes. Questões como dificuldade de ligações e de se obter um alinhamento da estrutura direcionaram as soluções formais no sentido de diminuir a quantidade de nós, aumentando, portanto, o comprimento das barras. Ao serem questionados sobre a pertinência desta opção os grupos relataram que o fator comprimento da barra não seria imperativo, mesmo nos casos das barras comprimidas, na concepção das formas visto que a ordem de grandeza dos carregamentos não era suficientemente alta para submetê-las ao fenômeno da flambagem, pois o ponto fraco da estrutura estaria na ligação entre as barras. Tal conclusão mostra além da apropriação dos conceitos ligados ao comportamento de barras comprimidas, a capacidade adquirida de avaliação da importância da relação entre o comportamento das barras e das ligações e da magnitude de carregamentos e sua influência sobre a estabilidade da estrutura. A partir da experiência anterior (ponte treliçada de macarrão) os grupos puderam inferir que a geometria da treliça é fundamental no seu desempenho. Então ao justificarem o menor

número de nós os grupos afirmaram que o alinhamento das barras mantendo a treliça num plano, era mais importante que o seu desenho estético.

A partir da análise destes dois exemplos, algumas percepções sobre o aprendizado dos alunos da quarta fase de Arquitetura e Urbanismo são possíveis:

-a experimentação e o aprendizado estão intensamente relacionados quando se permite ao estudante interpretar os resultados obtidos nos experimentos e quando se identifica os pontos falhos na sua proposição. Tal identificação veio, na metodologia adotada, invariavelmente a ser mais valorizada do que as alternativas que foram exitosas. Uma valorização maior do erro do que do acerto, nestes casos auxilia na busca das explicações para tais erros, enquanto que decisões acertadas serão interpretadas como um sucesso momentâneo mesmo que não existam explicações plausíveis para tal sucesso. A busca da explicação para os equívocos culminou invariavelmente em novas proposições e considerações sobre como as decisões pretéritas influenciaram no melhor ou pior desempenho estrutural obtido.

-a experimentação vivenciada no canteiro experimental pode contribuir na formação dos futuros arquitetos apresentando aos mesmos conceitos relacionados ao comportamento estrutural de materiais, componentes e, mesmo, estruturas completas. No canteiro experimental tais conceitos são apresentados de forma qualitativa, sem que existam quaisquer possibilidades de quantificação dos fenômenos envolvidos. Percebe-se que os estudantes puderam apropriar-se dos mesmos a ponto de, nos exercícios, formularem propostas neles baseadas relacionando propriedades intrínsecas das propostas com seu comportamento final. Este comportamento demonstra que os mesmos estudantes, mais do que compreender as relações mencionadas anteriormente, foram profícuos na proposição de formas a partir de tais relações com conteúdo técnico adequado às propostas.

-é possível avançar no aprendizado através da experimentação demonstrada neste trabalho. O método de experimentação utilizado no Canteiro Experimental da UFFS busca mesclar a confecção de modelos reduzidos com aqueles situados na escala humana. Mesmo em modelos reduzidos, busca-se o entendimento que tais modelos não são uma mera miniatura ou maquete formal. Os modelos reduzidos precisam comportar-se como uma estrutura. Mesmo as diferenças de comportamento que são devidas à própria diferença de escala são fonte de discussões, conclusões e proposições acerca de novos projetos ou exercícios.



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

4 REFERÊNCIAS

CHARLESON, A. *A estrutura aparente: um elemento de composição em arquitetura*. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 216 p.

PROJETO Pedagógico do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo -Bacharelado (2010). Chapecó: UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - UFFS/ MEC.

RONCONI, Reginaldo (2008). Apresentação: Canteiro para espaços experimentais de arquitetura - Antônio Domingos Batalha. In: Canteiro experimental: 10 anos na FAU USP. São Paulo: FAUUSP.