



ENSINO E APRENDIZAGEM DE SISTEMAS ESTRUTURAIS ATRAVÉS DE SUA ANALOGIA COM A NATUREZA

Ana Carolina R. Lozovey – ana.lozovey@univali.br

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Marina M. Duarte – marina.duarte@univali.br

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Gisele Andressa Santette – g_santette@hotmail.com

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Jenifer Susana Rosa – jeniferbuerger@gmail.com

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Resumo: *A natureza ensina, soluciona as estruturas, é fonte de inspiração e criatividade. A partir das analogias entre sistemas estruturais da natureza e das edificações, são reproduzidas soluções naturais e representadas as relações entre forma estrutural, esforço e material, ressaltando a importância da interação arquitetura e estrutura para a qualidade do projeto. Aos alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, a relação entre arquitetura e a natureza é excelente exercício de observação e compreensão de conceitos básicos fundamentais, mostrando aos alunos ingressantes a importância do comportamento estrutural na concepção da forma. O presente trabalho apresenta a aplicação, em sala de aula, de atividade de confecção de painel com a finalidade de ilustrar analogias entre os sistemas estruturais da natureza e das edificações que o engenheiro Yopanan Rebello apresenta em suas publicações como forma de aprendizado. Como resultado da atividade realizada, é adquirido conhecimento qualitativo de avaliação de diferentes tipologias estruturais, tecnológicas e construtivas, compreendendo o comportamento dos elementos estruturais, posicionamento, carregamentos, material, na elaboração dos primeiros projetos e estudos iniciais dos sistemas estruturais.*

Palavras-chave: *Sistemas estruturais, Natureza, Arquitetura, Edificações.*



1 INTRODUÇÃO

Quando o homem se propõe a construir algo, seu primeiro pensamento recai sobre os materiais a sua disposição passíveis de serem obtidos.

O homem primitivo dispunha de barro, que ao misturar com fibras vegetais, faz “taipa de pilão”. Também recorreu a ramos de árvores, que dispostos tanto na horizontal como na vertical, constituíram a estrutura resistente de suas construções.

Se no local da construção houvesse pedra, utilizava-as como estrutura durável e resistente e com um aspecto agradável, mesmo que difícil de manusear.

Muitas construções foram feitas com esses materiais. No entanto, o homem não se contentava com o que os outros já haviam feito: queria ultrapassar os limites alcançados. Com frequência, passou por dissabores que contribuíram para compreender melhor o que estava fazendo. Do somatório dos dissabores, veio o progresso.

As construções naturais tinham, e ainda têm por objetivo a sobrevivência. A proteção contra agentes naturais (vento, fogo, raios) foi sempre um desafio. Os que não conseguiram solucionar esses problemas sucumbiram.

A proteção contra os predadores é outro fator que as estruturas naturais precisaram resolver. Todos os animais conseguiram resolver satisfatoriamente essa dificuldade, criando mecanismos de defesa das mais diversas formas.

A natureza age do mesmo modo que os homens. Contudo, o homem usa os materiais que encontra na natureza ou os transforma industrialmente, tornando-os mais adequados para atender a cada finalidade (VASCONCELOS, 2004).

Segundo SALVADORI (2011), a natureza domina o princípio da resistência obtida, por exemplo, pela forma curva. Cita a eficiência da casca de ovo para proteger o desenvolvimento da vida interna, a concha para abrigar o molusco e a carapaça para a sobrevivência da tartaruga.

A sabedoria encontrada nas soluções da natureza é objeto de observação e estudo para o entendimento de diversos fenômenos da vida do homem. Também na construção civil é possível identificar algumas situações semelhantes entre o comportamento estrutural e elementos naturais.

Algumas analogias fornecem subsídio para a concepção da forma e compreensão de esforços, abrindo uma possibilidade de abordagens para diversos conteúdos aplicados nas disciplinas de Sistemas Estruturais.

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. Após esta etapa intuitiva, iniciam-se os estudos quantitativos de caráter aprofundado. Na última fase ocorrem as atividades de projeto, nas quais os alunos devem desenvolver soluções arquitetônicas integradas à estrutura (SARAMAGO; LOPES, 2009).

Torroja (1960) foi um dos primeiros a defender a ideia de que a concepção estrutural, enquanto fruto de um processo criativo, necessariamente deve estabelecer a conexão entre processos técnicos e artísticos. O autor defende que a discussão conceitual da forma e da estrutura deve ser priorizada para que o modelo matemático seja o resultado e não a causa do projeto. 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 analogias entre o funcionamento da natureza com enfoque no comportamento estrutural.

A possibilidade de avaliar a semelhança entre detalhes da natureza e estruturas durante a elaboração de cartazes ilustrativos desenvolve a percepção qualitativa do comportamento de diferentes sistemas e materiais, incentiva a desenvoltura para a apresentação oral a fim de expor o domínio do conteúdo e auxilia no desenvolvimento das habilidades manuais.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho é desenvolvido no primeiro período do curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali. A intenção é a criação de cartazes concebidos a partir das analogias apresentadas por Yopanan (2003).

As ideias são propostas por grupos de alunos que definem, com o devido assessoramento e acompanhamento do professor, a analogia a ser explorada. A partir daí, discutem-se diversas possibilidades construtivas, suas formas arquitetônicas e sua solução estrutural, mantendo uma funcionalidade próxima àquela adotada pela natureza.

Os trabalhos apresentados a seguir foram elaborados manualmente e apresentados em sala oralmente, relatando o processo desde sua idealização até sua concretização.

2.1 A asa da libélula

Ao se conceber uma grelha, comum em projeto de coberturas de grandes espaços, tem-se uma relação direta entre a dimensão das peças estruturais e a densidade apresentada pelos elementos que a compõem. Para densidades maiores, as dimensões apresentar-se-ão menores. O inverso também é verdadeiro.

A simples observação da asa da libélula, ilustrada na Figura 1, mostra-se um exemplo evidente do funcionamento das grelhas. A asa desse inseto possui várias nervuras que formam uma malha densa onde a espessura de seus componentes é pequena.

Figura 1 – A asa da libélula.





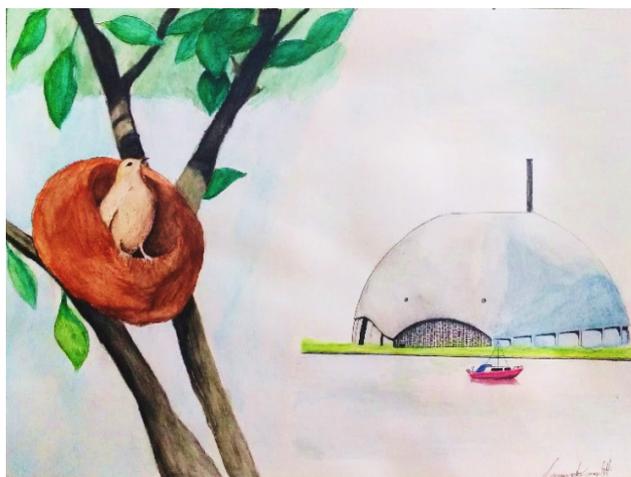
2.2 A casa do João-de-Barro

Observando a forma do ninho do pássaro João-de-barro, percebe-se que se aproxima de uma cúpula. Os esforços de compressão, nessa estrutura, são resistidos por uma mistura de barro úmido da beira de córregos e fibras vegetais REBELLO (2000).

Que sabedoria apresentou essa espécie, quando soube combinar material, esforço e forma e obter uma estrutura eficiente quanto a sua funcionalidade e resistência. Ver Figura 2.

Ao se projetar uma forma semelhante, o homem precisa se dar conta dos esforços envolvidos para que as decisões de material, espessura, curvatura e flecha devam ser devidamente determinados.

Figura 2 – A casa do João de Barro.

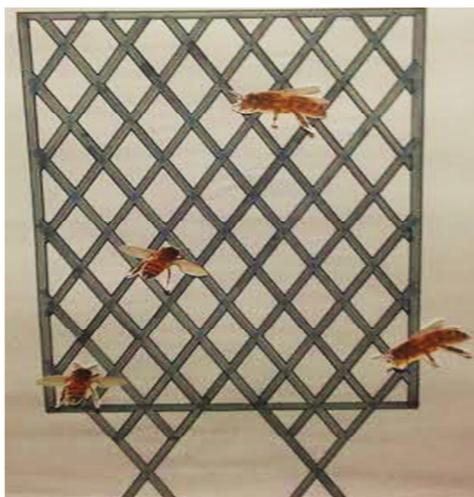


2.3 A colmeia das abelhas

Em toda análise estrutural há a preocupação de se garantir estabilidade global da edificação. Há várias formas de se obter maior rigidez quanto a esforços horizontais, como, por exemplo, a criação de contraventamentos, núcleos rígidos ou pórticos.

Os pórticos alteram pouco a concepção da forma, uma vez que são obtidos pelo enrijecimento das ligações entre elementos. E, é dessa forma que as abelhas constroem suas colmeias (Figura 3). Para que as ligações apresentem rigidez, as abelhas aumentam a espessura junto aos encontros de cada um dos hexágonos (REBELLO, 2000).

Figura 3 – A colmeia das abelhas.





Uma outra curiosidade é destacada por REBELLO (2000) quando comenta que o formato hexagonal adotado para os casulos é o que apresenta maior área com o menor perímetro, além de não restarem intervalos entre si ao serem agrupados.

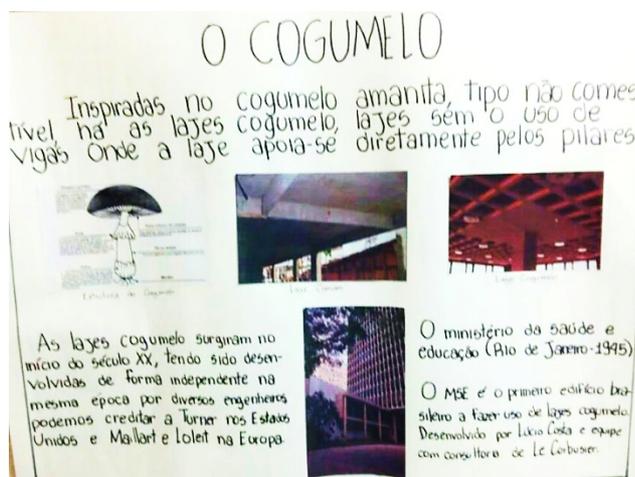
2.4 O cogumelo

O sistema construtivo com lajes planas, onde as lajes se apoiam diretamente sobre pilares, tem sido cada vez mais explorado pelo homem nas suas construções comerciais e residenciais. O apoio pontual dessas lajes gera esforços de cisalhamento ao redor dos pilares, o qual é denominado esforço de punção.

Para resistir ao punçionamento, há considerações importantes a serem feitas quanto à armadura transversal, à espessura da laje, à presença de capitéis e à possibilidade de se protender a armadura longitudinal. As lajes planas mais comumente empregadas são as lajes maciças e as nervuradas. Quando da decisão do segundo tipo citado, surge um reforço maciço na área crítica à punção ao redor do pilar.

O aspecto estético, tanto das lajes planas nervuradas com trechos maciços ao redor dos apoios quanto das lajes planas maciças com capitéis, remete à estrutura de um cogumelo (ver Figura 4). Essa espécie de fungo é constituída por um ‘chapéu’ formado por diversas nervuras em balanço que se estendem até a base. Conforme as nervuras se aproximam da base, sua altura aumenta garantindo rigidez e estabilidade ao cogumelo (REBELLO, 2000).

Figura 4 – O cogumelo.



2.5 A casca do ovo

O estudo dos arcos envolve a análise do seu comportamento estrutural em função da determinação de sua forma, uma vez que dependendo da concepção desse sistema podem ocorrer compressão predominante ou flexo-compressão.

Arcos com esforços de compressão unicamente, devem ser projetados segundo o resultado da forma obtida com a aplicação de cargas em cabos biapoiados, conforme ilustrado na Figura 5. A forma final, na qual cada trecho do cabo é submetido unicamente à tração, é denominada funicular. A inversão da forma funicular em relação a horizontal gera arcos com esforços de compressão exclusivamente.

Esforços de flexo-compressão em arcos surgem em formas diferentes do funicular de cargas e devem ser considerados na escolha do material e seu dimensionamento à compressão e aos esforços de tração.

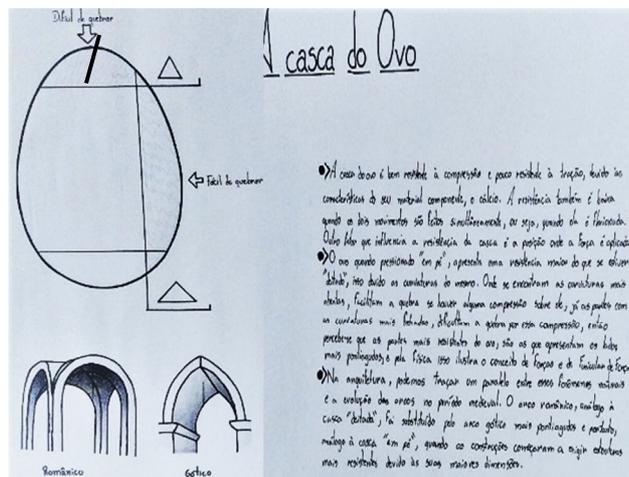


Figura 5 – Funicular de cargas.



O formato do cabo com a aplicação de uma carga concentrada é triangular. O ovo, posicionado em pé, conforme ilustrado na Figura 6, oferece bastante resistência quando aplica-se uma força com os dedos nessa direção devido à predominância da compressão no formato mais pontiagudo. A mesma força aplicada ao ovo deitado provoca a sua ruptura em função do surgimento de esforços de flexão e da baixa resistência da casca à tração.

Figura 6 – A casca do ovo.



Cabe comentar que, no momento da apresentação desse assunto, o grupo experimentou as resistências das cascas de ovos, comprovando o citado acima.

2.6 Os galhos das árvores

Ao se projetar uma estrutura em balanço, sabe-se que os maiores esforços de flexão se desenvolvem junto do apoio. Para oferecer maior resistência no dimensionamento de uma peça, algumas opções podem ser analisadas como, por exemplo, aumentar a seção transversal da peça, afastar o material da seção transversal do centro de gravidade ou aumentar a resistência do material.

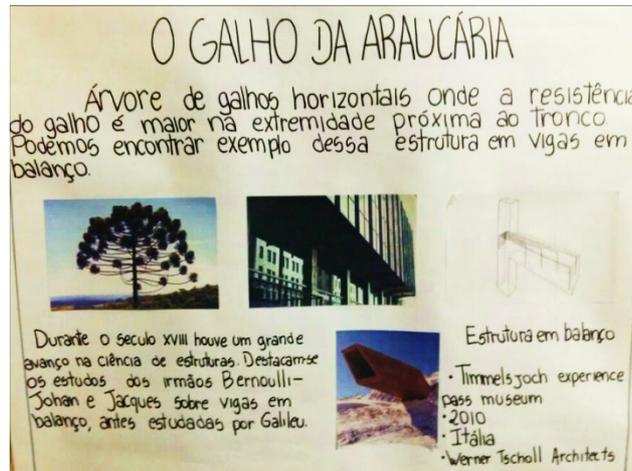
A natureza criou sua forma de garantir resistência para os balanços dos galhos das árvores, conforme abordado nos trabalhos abaixo.

O galho da araucária

Essa espécie tem seus galhos praticamente na horizontal, conforme ilustrado na Figura 7, e não apresentam variação de sua espessura. Para que estes galhos não se rompam, sua resistência mecânica nas proximidades do tronco é aumentada devido à presença do nó de pinho (REBELLO, 2000).



Figura 7 – O galho da araucária.



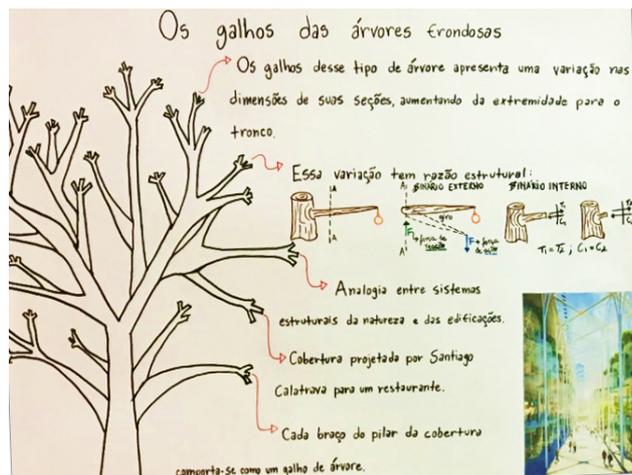
A exemplificação dessa solução, na construção civil, pode ser feita para elementos em balanço em concreto armado onde, à medida que se aumenta o vão do balanço, há necessidade de aumentar a armadura negativa para transferência dos esforços de flexão.

Em estruturas metálicas a vinculação rígida, para o equilíbrio de um balanço engastado, se assemelha ao nó de pinho pelo aumento dos parafusos ou solda.

O galho das árvores frondosas

As árvores frondosas, listradas na Figura 8, apresentam galhos com variação na seção transversal ao longo do seu comprimento, de forma que, junto do tronco, sua seção é máxima, fazendo a analogia com a opção de se vencer os esforços máximos de flexão do balanço junto do apoio através do aumento da seção transversal de uma peça estrutural (REBELLO, 2000).

Figura 8 – Os galhos das árvores frondosas.



2.7 Conchas marinhas

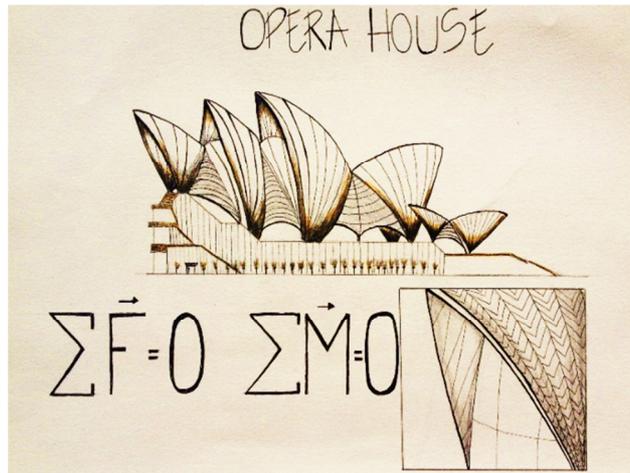
Diversas construções do homem fazem alusão ao formato das conchas marinhas, conforme observado na Figura 9. Coberturas plissadas e cascas com diferentes formatos apresentam esbelteza em sua espessura e oferecem grande resistência à compressão em função



de ondulações ou nervuras em seu plano, que afastam o material do centro de gravidade, garantindo um bom comportamento quanto ao fenômeno de flambagem.

O habitat dos moluscos está submetido à alta pressão provocada pela água em grandes profundidades. As conchas, responsáveis por assegurar segurança aos seres vivos que abrigam, são constituídas de material resistente à compressão, além de apresentarem nervuras que evitam a perda da estabilidade dessa casca esbelta (REBELLO, 2000).

Figura 9 – Conchas marinhas.



2.8 O pé de oliveira

Quando da necessidade de viabilizar uma área térrea com número de pilares reduzidos de forma a liberar espaço útil, comumente opta-se por transições sobrecarregando a viga de apoio, na qual os esforços de flexão e cisalhamento tornam-se altos, refletindo em grandes deformações além de um custo elevado.

A ideia de bifurcar esse elemento vertical no térreo permite que as cargas de novos pilares de pavimentos superiores sejam descarregadas diretamente sobre eles, eliminando as indesejadas vigas de transição.

Ao se observar árvores de oliveiras, ilustradas na Figura 10, nota-se que, em função de sua curvatura inicial do tronco, essa espécie desenvolve, ao longo dos anos, o crescimento de um tronco em forma de K, garantindo sua estabilidade.

Figura 20 – O pé de oliveira.





3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Estruturas nos cursos de Arquitetura e Urbanismo carece de adaptações no que se refere à abordagem conceitual do conteúdo programático. O início do processo de ensino e aprendizagem do comportamento das estruturas com um enfoque intuitivo-qualitativo resulta em um entendimento facilitado dos diversos sistemas estruturais e construtivos.

O estudo das analogias com a natureza e todo o processo de elaboração dos cartazes, relacionando suas formas, resistência dos materiais e esforços envolvidos com soluções construtivas reais contribuem para essa etapa inicial.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REBELLO, Y.C.P. Analogias entre sistemas estruturais da natureza e das edificações . In: A concepção estrutural e a arquitetura, São Paulo: Ed. Zigurate, 2010. 6ª edição. p.199-227. 2003

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

SALVADORI, Mario. Por que os edifícios ficam de pé. ed. Blumenau: Edifurb, 2011. 113 p, il.

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.

RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND NATURE AS A FORM OF TEACHING AND LEARNING IN STRUCTURAL, EFFORT AND MATERIAL RELATIONSHIPS

Abstract: *Nature teaches, solves structures, is a source of inspiration and creativity. From the analogies between structural systems of nature and buildings, natural solutions are reproduced and relationships are represented between structural form, effort and material, emphasizing the importance of the interaction architecture and structure for the quality of the project. To the students of the Architecture and Urbanism courses, the relation between architecture and nature is an excellent exercise of observation and understanding of fundamental basic concepts, showing to the students entering the importance of the structural behavior in the conception of the form. The present work presents the application, in the classroom, of panel making activity with the purpose of illustrating analogies between the structural systems of nature and the buildings that the engineer Yopanan Rebello presents in*

Organização



Promoção



Joinville/SC – 26 a 29 de Setembro de 2017
UDESC/UNISOCIESC
“Inovação no Ensino/Aprendizagem em
Engenharia”



COBENGE 2017
XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

his publications as a way of learning. As a result of the activity carried out, a qualitative knowledge of the evaluation of different structural, technological and constructive typologies, comprising the behavior of the structural elements, positioning, loading, material, in the elaboration of the first projects and initial studies of the structural systems is acquired.

Key-words: *Structural systems, Nature, Buildings.*

Organização



Promoção

