

## 1. Introdução

Até hoje a maior parte das construções empregam técnicas, processos e materiais inadequados, resultando em enorme perda de energia e pouco ganho na relação custo-benefício. A maioria das pessoas, envolvidas com problemas de construção, não se conscientizou ainda do fato que construímos de maneira errada, consumindo materiais e energia em excesso em relação ao resultado obtido. Ao longo de toda a história da construção o homem se serviu da força da Gravidade para conseguir a estabilidade das suas estruturas. Nas grandes cúpulas e abóbadas da Antigüidade os materiais empregados, pedra e tijolo, eram de pouca eficácia construtiva, desfavoráveis mesmo à relação resistência/peso próprio. Segundo Felix Candela (Frei Otto: Estructuras, 1965: V) “para assegurar a eficiência das estruturas eram necessários muros de grande espessura, o que fazia com que o peso próprio resultasse muito maior do que as possíveis sobrecargas”.

É interessante observar que nós ainda nos damos ao trabalho de projetar e construir estruturas que estão mais próximas dos Egípcios, Astecas e Romanos do que dos tempos atuais.

"Não é estranho que algo tão óbvio como a leveza, empregada para economizar o consumo de energia raramente chama a atenção? Pois o seu potencial inovativo é enorme e temos muito a ganhar com isto!

A função depende da trilogia: material, forma e processo de fabricação. Quanto mais leve a construção mais crítico é o equilíbrio entre estes fatores.”  
(Ed van Hinte/ Netherlands Design Institute, 1999)

Nos dias que correm torna-se cada vez mais evidente a necessidade de poupar espaço e, sobretudo energia, sendo que hoje estamos, como em nenhum outro tempo da história, equipados para isto. Têm sido desenvolvidos materiais ultraleves e ultra resistentes capazes de, quando usados em conjunto, reduzir drasticamente o tempo de construção, o custo da obra e o peso do prédio completo.

Mais ainda, a mobilidade associada à leveza, está tomando conta do mundo, dito civilizado. É preciso lembrar que, povos nômades como os tuaregs, os esquimós, muitas tribos indígenas da América do Norte, do Brasil e da África, para citar apenas algumas, sempre fizeram da mobilidade o seu modo de viver resultando no desenvolvimento de sistemas muito eficientes de arquitetura leve e portátil, adequada aos respectivos climas e materiais disponíveis no ambiente natural.

Hoje já existem institutos internacionais voltados exclusivamente para as práticas sociais nômades o que envolve, não só a arquitetura ligeira mas, também, objetos leves em geral. Exemplo disto são: o Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Tecnologia Aeroespacial da Universidade de Tecnologia de Delft, na Holanda, o Instituto para estudos de Estruturas Leves da Universidade Politécnica de Stuttgart, na Alemanha, os Centros para Desenvolvimento de Construções Leves nas Universidades de Berlim na Alemanha e Budapest, na Hungria, que há muitos anos se preocupam com o problema da leveza nas construções.

### **1.1. Hipóteses**

É possível também que nós continuemos a trabalhar baseados na ilusão que as estruturas devem ser eternas, durando para todo o sempre. Mas, num mundo em acelerada transformação e mudança de hábitos não é possível prever as necessidades das pessoas daqui a vinte anos, nem a integridade e durabilidade dos materiais em grandes espaços de tempo. Não seria relevante considerar o que foi sugerido, já em 1964, na Conferência Internacional de Design em Aspen, Colorado, que “o que nós precisamos é uma arquitetura Kleenex” (referência a uma marca americana de lenços descartáveis) (Papanek, 1971, p.73). Por exemplo, algo retirado por empréstimo, do meio ambiente e depois de cumprir sua missão, ser devolvido a este mesmo meio e substituído por algo mais eficiente. Nesta proposta, o nosso interesse recai sobre o bambu como material estrutural. Assim sendo cabem as perguntas:

Como realizar estas construções e objetos de modo a tornar a sua fabricação e montagem a mais simples possível ao ponto de prescindir uma mão de obra muito especializada?

Em que áreas seria realmente útil aplicar o resultado concreto do desenvolvimento de objetos design estruturados com bambu ?

Que tipo de sistemas estruturais, conseqüentemente, técnicas de construção, poderiam e deveriam assim ser desenvolvidas para que tipo de objetos?

## 1.2. Objetivos

Um dos objetivos principais deste trabalho é tornar manifesto uma série de objetos físicos, inéditos (incluindo-se aí arquiteturas), necessários principalmente em ambientes naturais de equilíbrio delicado, com o máximo de eficiência e o mínimo de prejuízo para estes espaços.

Grandes Áreas de Proteção Ambiental como Parques Nacionais rurais e litorâneos, onde a leveza dos objetos, processos de construção menos invasivos e o emprego de material e mão de obra locais, seriam um bom lugar para a implantação dos objetos tratados aqui.

Em função do exposto acima gera-se a proposta central deste trabalho que é a aplicação de uma tecnologia estrutural, de invenção bastante recente, que vem sendo estudada sistematicamente no LILD-PUC (Laboratório de Living Design da PUC), que é complexa na teoria mas relativamente simples na prática. Trata-se dos estudos envolvendo o emprego de estruturas espaciais em **Tensegrity** que têm colmos de bambu como material comprimido, no lugar das hastes de metal ou madeira comumente utilizados.

O produto final deste trabalho é um documento teórico-prático que, tomando por base os estudos estruturais em desenvolvimento no LILD, apresente informações detalhadas e atualizadas sobre tensegrity, além de recomendações de projeto para objetos e estudos de pesquisas futuras visando um incremento, cada vez maior, do corpo de conhecimento relativo a utilização da **técnica tensegrity** e do material **bambu**.

Os beneficiados diretos deste trabalho serão escolas de Arquitetura e Design, Instituições atuando em comunidades de baixa renda: rurais, litorâneas, lacustres ou ribeirinhas, Áreas de Proteção Ambiental (APAS) e entidades governamentais envolvidas com o assunto.

### **1.3. Justificativa**

O Brasil é um território de extensão continental ainda coberto, em grandes áreas, por uma vegetação extremamente rica, dona de uma biodiversidade única no Planeta. Os eco-sistemas se estendem por regiões que compreendem: desde a faixa tropical no Equador até as terras temperadas situadas no trópico de Capricórnio.

Sabemos que todo este território vem sendo agredido e espoliado brutalmente até o extremo de já ter perdido, para sempre, inúmeras espécies da flora e da fauna, além de facilitar a progressão de uma alarmante desertificação, que avança rapidamente por sobre todos os seus quadrantes.

Só muito recentemente é que o governo brasileiro vem tomando medidas mais eficazes para acabar com este desvario fazendo esforços para proteger, preservar e até mesmo recuperar o que resta de sadio na nossa Natureza. Uma maneira encontrada foi a criação de Parques Nacionais e outros organismos similares distribuídos nas diferentes zonas climáticas do Território Brasileiro.

Estes Parques, uma vez criados, precisam, para a sua manutenção e desenvolvimento, de infra-estruturas de apoio permanentes, cuidados técnicos especializados fixados nas áreas, conscientização das populações vizinhas e estímulo à visitação dirigida.

Parte desta visitação sabemos ser composta por biólogos, zoólogos e pesquisadores afins que estudam os eco-sistemas, em sua diversidade, para desenvolver trabalhos de preservação e estudos de como minorar os danos já causados ao Meio Ambiente.

Assim sendo, para que a presença humana nos Parques possa se estabelecer e realizar bem o seu trabalho, torna-se necessário implementar instalações e facilidades que tragam conforto, mobilidade e segurança aos técnicos e visitantes, uma vez que são espaços selvagens sujeitos às ocorrências, muitas vezes violentas, perpetradas pela própria Natureza e, pior ainda, pelo homem!

Afloram neste momento três perguntas muito importantes, a saber:

**1)** Como construir dentro de áreas tão frágeis e ao mesmo tempo tão selvagens não afeitas à invasão de estruturas estranhas ao seu estado da arte?

**2)** Como movimentar as pessoas pelos caminhos, trilhas e locais de pouso evitando a ação invasiva de materiais estranhos ao meio, máquinas pesadas e processos de construção complexos e demorados?

**3)** Que soluções temos para realizar estas instalações e objetos utilizando materiais, técnicas e procedimentos simples e, sobretudo, de baixo custo?

A resposta está no emprego de técnicas estruturais que utilizem materiais leves, obtidos e trabalhados nas áreas de instalação por meio de processos "limpos" de produção, passíveis de serem acionados pelas comunidades locais.

Complementando o que já foi definido nos objetivos, os sistemas estruturais a serem propostos permitirão o trabalho participativo, empregando técnicas de produção que não envolvam processos industriais complexos nem necessitem da importação de tecnologias de fora das áreas em questão, com a finalidade de serem absorvidas e continuadas pelos habitantes locais sem a necessidade de intervenção de um poder central.

Este sistema de construção comunitária cujo alcance deve ultrapassar o espaço ecológico delimitado pelo Parque, isto é, englobar o seu entorno, ocupa todas as pessoas da região as quais, pelo fato de estarem atuando ativamente nas construções e instalações, tornam-se mais conscientes e atentas, resultando em maior responsabilidade e conhecimento quando da necessidade de reparos ou reposições.

Dentre muitas, as principais instalações físicas passíveis de serem desenvolvidas são: Abrigos para pessoas, materiais, laboratórios e equipamentos; Pontes para vencer vãos e trilhas suspensas; Cais de atracação; Ranchos para áreas remotas e Torres de Observação, tanto para estudo do comportamento dos animais que vivem nas copas das árvores e nunca descem ao solo, quanto para a prevenção de incêndios. A finalidade deste trabalho é desenvolver alguns objetos e propor recomendações de projeto e técnicas para futuras pesquisas que possam resultar em mais conhecimento, para viabilizar a construção de outros, maiores e mais complexos.

#### **1.4. Metodologia de Trabalho**

Para embasamento e realização do projeto acima proposto foi observada a seguinte seqüência de desenvolvimento metodológico:

**1)** Acesso ao instrumental do **LILD/PUC-Rio**, Laboratório de Investigação em Living Design (antigo LOTDP) sob a orientação do professor dr. José Luiz Mendes Ripper para ensinar o emprego das técnicas. O **LILD** já desenvolve pesquisas, há vinte anos, não só com bambu mas também, com sistemas estruturais baseados nos princípios da Tensegrity. O **LILD** também mantém contato muito freqüente com instituições que desenvolvem estudos similares na: Colômbia, Costa Rica e Equador.

**2)** Pesquisas na Internet com instituições e entidades que lidam com pesquisas de construções de estruturas leves e resistentes. Algumas destas instituições já foram identificadas, a saber: Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Tecnologia Aeroespacial da Universidade de Tecnologia em Delft na Holanda; Universidade Técnica de Munich (TUM) na Alemanha ; Instituto de Ciências da Construção, em Budapest, Hungria; Buckminster Fuller Institute, para levantar textos e informações sobre **domos geodésicos e tensegrity**, que não se encontram nos livros mas nas suas palestras, e autores como Frei Otto, Renè Motro, Kenneth Snelson e Khosrow Ghavami, da PUC-Rio sobre o emprego de materiais não convencionais em Arquitetura.

**3)** Ainda nas pesquisas pela Internet, visitar os sites das principais firmas de construção do Mundo que trabalham com estruturas tensegrity. Por exemplo Geiger Engineering, nos EUA e Rolef e Carlsthal, na Alemanha.

**4)** Desenvolvimento de modelos laboratoriais. Nestes modelos serão levadas em conta peculiaridades do bambu como elemento estrutural e a interface do mesmo com cabos de fibra sintéticos ou fios metálicos trançados.

**5)** Projetos de objetos construídos pelo sistema estrutural a ser proposto, bem como, construção de um modelo em escala mostrando uma aplicação prática do referido sistema estrutural, a saber: Tensegrity.

## **1.5. Referencial Teórico/Prático**

O referencial Teórico Prático a ser explicado aqui, completa o item anterior: Metodologia de Trabalho (1.4) e se fundamenta nos seguintes pontos principais:

**1)** Estudo e análise das principais estruturas (construções) realizadas pela humanidade ao longo dos últimos 6.000 anos.

2) Observação de modelos estruturais naturais (Biônica) onde se encontram infinitas soluções estáveis e não perdulárias incluindo-se aí o modelo estrutural (tensegrity) que será aqui exposto.

3) Projetos desenvolvidos por alguns arquitetos aplicando soluções tenso-comprimidas para as suas realizações.

4) Estruturas baseadas em treliçamentos onde o **triângulo**, do mesmo modo como na Natureza, se apresenta como elemento fundamental para o sucesso das mesmas.

5) Análise de construções concretas em tensegrity puro realizadas por cientistas-pesquisadores, arquitetos e engenheiros.

6) Levantamento, pesquisas e aquisição de conhecimento relativo ao material rígido a ser utilizado na fabricação das estruturas a saber: **o bambu**.

### 1.5.1. Biônica ou Biomimética

Biomimética do grego bios **vida** e **mimesis** imitação, é o campo da biologia que usa as informações dos sistemas biológicos para desenvolver sistemas sintéticos. Em outras palavras esta nova ciência estuda os modelos da Natureza para resolver problemas humanos, por exemplo: o sonar que foi desenvolvido observando-se o sistema direcional dos golfinhos; os sensores infravermelhos que devem parte da sua criação ao estudo do sistema sensor da cobra cascavél; uma célula solar baseada no sistema de fotossíntese de uma folha, etc.

A Biomimética, também conhecida como **Biônica** é uma ciência nova que, reunindo biologia e engenharia, permitirá, em breve, a descoberta de novos compósitos, desenvolvimento de robôs, próteses humanas e procedimentos cirúrgicos mais simples e seguros, estruturas mais resistentes e mais leves, processos de fabricação, etc. que revolucionarão o século XXI.

### 1.6. Como a natureza usa suas estruturas para construir

Todas as estruturas naturais conseguem estabilidade usando **triângulos**. Quando uma estrutura é construída com triângulos ela não precisa de material extra para fazer seus apoios.

A Natureza por não ser perdulária, mantém-se rigorosamente dentro dos ditames do máximo de eficiência com um mínimo de recursos. Neste caso, e em inúmeros outros, o uso de padrões triangulares para a estabilização das suas estruturas assegura sempre o emprego mais eficiente de material para realizar seus objetivos.

A lista de estruturas biológicas triangulares é infinita, a saber: a colmeia que emprega o mínimo de cera para conter o máximo de mel; as estruturas das asas dos insetos; as células; os cones das pinhas; as estruturas das folhas; o padrão estrutural dos répteis; a estrutura retinal dos insetos; as células da cortiça; o pólen; a estrutura interna das sementes; os filamentos dos músculos; os esqueletos das diatomáceas; a casca de proteína dos vírus, etc.. Igualmente numerosos são os exemplos de estruturas de cristais. Os cristais apresentam a olho nú formações que mostram: cubos, octaedros, romboedros, mas, que ao serem observadas no microscópio eletrônico revelam todos um mesmo padrão triangular subjacente. O mesmo podendo ser dito dos metais. Segundo o professor Ripper já foram observadas nano estruturas da Matéria constituídas por uns poucos átomos, que utilizam um mínimo de energia potencial para a sua contínua transformação.

### 1.7. **Triangulação significa estabilidade**

Quando forças geram uma forma estabilizada, isto é, capaz de se auto sustentar, elas criam uma **Estrutura**. As estruturas obtêm estabilidade aplicando triângulos na organização das suas forças. O **triângulo** é a única forma que permanece rígida, mesmo quando construída com conexões flexíveis porque cada vértice é estabilizado pelo lado oposto. De todos os poliedros regulares apenas o **tetraedro**, o **octaedro** e o **icosaedro** são formados totalmente por faces triangulares. São os únicos poliedros inteiramente auto-estabilizados. Os outros têm graus variados de estabilidade dependendo do número de faces triangulares que possuem.

## **1.8. O Método Científico**

Por fim, há de se comentar que o caminho aqui passa pelo Método Científico. Começando com a aquisição de conhecimentos dos fenômenos naturais, observando-os sistematicamente e registrando observações evidências ou dados científicos (biônica) .

Em seguida formula-se um modelo científico para a observação de experimentos controláveis.

É preciso lembrar que em casos como os da física, da química e da biologia, por exemplo, é possível formular modelos matemáticos devido à precisão inerente à linguagem matemática.

Mas, no nosso caso as tentativas têm sido problemáticas pois tendem a confinar os modelos científicos a um âmbito tão estreito que se tornam estéreis e perdem a sua utilidade no sentido de estimular novos experimentos e projetos.

No dizer do físico Fritjof Capra (Capra, 2007, pág. 173): "...percebemos no decorrer das últimas décadas que, nem formulações matemáticas, nem resultados quantitativos são componentes essenciais ao método científico."

Finalmente, o modelo teórico é desenvolvido na prática em modelo operante. Se este se revelar consistente e se for capaz de prever o resultado de novos experimentos ele poderá ser calculado como estrutura e realizado como objeto.