



Roberto Verschleisser

**Aplicação de Estruturas de Bambu
no Design de objetos.
Como construir objetos leves , resistentes,
ecológicos e de baixo custo.**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Design do Departamento de Artes e Design da
PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para
obtenção do título de Doutor em Design

Orientador: Prof. José Luiz Mendes Ripper

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2008



Roberto Verschleisser

**Aplicação de Estruturas de Bambu no Design
de objetos: Como construir objetos leves,
resistentes, ecológicos e de baixo custo**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Comercial do Centro de Teologia e Ciências Humanas. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Dr. José Luiz Mendes Ripper
Presidente/ Orientador - PUC-Rio

Profa. Dra. Rita Maria de Souza Couto
Membro - PUC-Rio

Prof. Dr. Luis Eustáquio Moreira
Membro - UFMG

Prof. Dr. André Soares Monat
Membro - ESDI-UERJ

Profa. Dra. Denise Berruezo Portinari
Membro - PUC-Rio

Prof. Dr. Paulo Fernando Carneiro de Andrade
Coordenador Setorial do Centro de Teologia
e Ciências Humanas - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de abril de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Roberto Verschleisser

Graduou-se em Design pela ESDI/UERJ (Escola Superior de Desenho Industrial) em 1967. Mestrado em Antropologia Cultural pela UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) em 1990. Foi um dos fundadores do Curso de Desenho Industrial na EBA/UFRJ em 1970, onde foi professor durante 28 anos. É professor de Desenho de Produto na ESDI/UERJ desde 1971 e na PUC-RIO desde 1993.

Ficha Catalográfica

Verschleisser, Roberto

Aplicação de estruturas de bambu no design de objetos : como construir objetos leves, resistentes, ecológicos e de baixo custo / Roberto Verschleisser ; orientador: José Luiz Mendes Ripper. – 2008.

229 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Artes e Design)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Artes – Teses. 2. Tensegrity. 3. Geodésicas. 4. Bambu. 5. Design. 6. Cultura material. 7. Arquitetura vernacular. I. Ripper, José Luiz Mendes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Doutor José Luiz Mendes Ripper, do LILD PUC-Rio, pelas idéias sempre boas e oportunas

Ao Prof. Doutor Luís Eustáquio Moreira pela mineirice do puxão de orelha na hora certa.

À Prof. Doutora Denise Portinari, meu anjo da guarda durante todo o projeto.

À Prof. Doutora Rita Maria de Souza Couto, fada madrinha e co-orientadora desde o começo desta viagem.

Ao meu amigo de todas as horas Vinicius Braga Pereira, sem ajuda do qual este trabalho jamais teria se concretizado.

Ao meu amigo e colega Prof. Frank Barral Dodd pelo imenso apoio moral e humano durante e, sobretudo, na apresentação pública deste trabalho.

Ao Prof. Doutor João Bezerra de Menezes, amigo e colega da ESDI/ UERJ, pela amizade e incentivo permanentes.

À minha família, Marta, Carla e Bruno, pelo apoio e carinho em todas as horas.

Ao meu filho Bruno, em especial, que num momento inspirado, presenteou-me com um equipamento muito veloz, que me possibilitou concluir este trabalho em tempo hábil.

Ao meu colega e amigo, Prof. Marcelo Massaharu Hatakeyama pelo incentivo e apoio no desenvolvimento e construção de modelos e protótipos.

Resumo

Verschleisser, Roberto; Ripper, José Luiz Mendes. **Aplicação de Estruturas de Bambu no Design de objetos. Como construir objetos leves, resistentes, ecológicos e de baixo custo.** Rio de Janeiro, 2008. 229p. Tese de Doutorado - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Até hoje a maioria das construções empregam técnicas materiais e processos inadequados, resultando em enorme perda de energia e pouco ganho na relação custo/benefício. A grande 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 aos resultados obtidos. Ao longo de toda a história da construção conhecida, o homem se serviu da força da Gravidade para conseguir a estabilidade das suas estruturas. Nas grandes obras antigas e atuais os materiais empregados: pedra, tijolo, ferro, cimento são de pouca eficácia construtiva quando consideramos a relação resistência/peso. Tomando por base as teorias e experiências com a **técnica tensegrity** de se montar estruturas, desenvolvidas por Keneth Snelson e Richard Buckminster Fuller, e partindo dos estudos com estruturas empregando bambu como **elemento comprimido** que vêm sendo desenvolvidos à 20 anos pelo LILD/PUC- Laboratório de Investigação de Living Design (antigo LOTDP), além de aplicar os princípios físicos da Tensegrity como técnica de construção, propõe-se aqui o desenvolvimento de objetos físicos inéditos para utilização em áreas remotas ou de Proteção Ambiental. Estas estruturas são feitas em material natural reciclável e biodegradável, de fácil manejo, e utilizam tecnologia de baixa complexidade para a sua montagem. Elas são pouco invasivas porque, sendo auto-portantes, dispensam fundações pesadas para existir e resistir.

Palavras-Chave

Tensegrity; geodésicas; bambu; design; cultura material; arquitetura vernácula;

Abstract

Verschleisser, Roberto; Ripper, José Luiz Mendes. **The use of Structures made of Bamboo for the design of objects. How to build low cost, resistant, light and ecological objects.** Rio de Janeiro, 2008. 229p. Doctorate Thesis - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Till our days most of the constructions of buildings make use of very inadequate and obsolete materials resulting in a huge waste of energy and little gain in the relation cost/benefit. However, many people involved with construction problems, did not realize the fact that we build the wrong way consuming materials and energy in excess in relation to the desired goals. Along the known history of construction men served themselves only of the force of Gravity to obtain the stability of their structures. In all great, ancient and actual constructions, the materials employed, such as: stone, brick, iron, concrete, are of low building efficiency if we consider the relation strength/weight. Taking into account the theories and experiences with **tensegrity techniques** developed by Kenneth Snelson and Richard Buckminster Fuller, and, starting from the studies with bambu structures, where bambu is the only **compressed** element, which is in course for 20 years now in the LILD-PUC-Rio (Laboratory of Living Design (former LOTDP), and applying the physical principles of Tensegrity as a building technique, our goal here is to develop real objects to be used in remote areas or National Parks. These structures, because of the recyclable materials of which they are made, are very easy to manipulate and need very low technology for the constructions made with them. Finally these structures are harmless to the environment because they are self supporting exempting the need of heavy foundations to exist and resist.

Keywords

Tensegrity; geodesics; bamboo; design; material culture; vernacular architecture

Sumário

1. Introdução	16
1.1. Hipóteses	17
1.2. Objetivos	18
1.3. Justificativa	19
1.4. Metodologia de Trabalho	20
1.5. Referencial Teórico/Prático	21
1.5.1. Biônica ou Biomimética	22
1.6. Como a natureza usa suas estruturas para construir	22
1.7. Triangulação significa estabilidade	23
1.8. O Método Científico	24
2. O Homem Construtor	25
2.1. Newgrange, na Irlanda	29
2.2. No Império Inca	30
2.3. Stonehenge na Inglaterra	32
2.3.1. A construção do Templo	34
2.4. As Pirâmides do Egito	36
2.4.1. A maior de todas, Khufu	38
2.5. A Construção de uma Cidade	40
2.5.1. Saturnia, uma típica cidade do Império Romano	41
2.5.1.1. A construção do muro da cidade	44
2.5.1.2. Estradas de acesso	45
2.5.1.3. A ponte sobre o rio Pó	46
2.5.1.4. Aquedutos e Pontes/Vencendo Distâncias	47
2.5.1.4.1. A Construção de um aqueduto para Saturnia	48
2.5.1.5. Sistema de esgoto de Saturnia	50
2.5.1.6. As construções intramuros de Saturnia	51
2.6. Construções Fortificadas, Muros e Castelos	55
2.6.1. Muralha da China	55

2.6.2. Castelos/ Fortalezas	57
2.7. Catedrais	58
2.8. Arquitetura do Ferro	61
2.8.1. A Torre Eiffel	65
2.9. Concreto Armado/ Arranha-céus	67
2.10. Aço e Vidro	69
2.11. Tendas	70
2.12. Arquitetura Pneumática	72
2.13. Arquitetura Vernácula - Arquitetura sem Arquitetos	74
2.13.1. O modo intemporal de construir	76
2.13.2. Arquitetura sem arquitetos (Bernard Rudofsky)	77
3. A Ciência do Design e Richard Buckminster Fuller	81
3.1. Introdução	81
3.2. A Revolução de Buckminster Fuller na Ciência do Design	82
3.2.1. Ciência do Design Antecipatório Abrangente	87
3.2.2. Principais Realizações de Bucky	93
3.3 Do Domo Geodésico ao Tensegrity, a contribuição de Richard Buckminster Fuller	100
3.2.3. A Gênese do Domo Geodésico	100
3.2.3.1. Os Sólidos Platônicos	103
3.2.3.2. As linhas Geodésicas e os Círculos Máximos	104
3.2.4. Principais projetos de Domos	108
4. Tensegrity	116
4.1. Tensegrity-Algumas Analogias	118
4.2. Tensegrity-Breve Histórico	119
4.3. Tensegrity - Origens	120
4.4. Tensegrity - A Controvérsia	122
4.5. Tensegrity - Evolução	123
4.6. Tensegrity como Princípio Universal	127
4.6.1. Tensegrity no Macro e no Microcosmo	127
4.6.1.1. Tensegrity na Biologia	128
4.6.1.2. Tensegrity e a Química Inorgânica	128

4.6.1.3. Tensegrity na Anatomia	129
4.7. Tensegrity - Princípios Básicos	130
4.7.1. Definições e caminhos propostos pelos principais Especialistas	131
4.7.1.1. Kenneth Snelson	131
4.7.1.2. Richard Buckminster Fuller	132
4.7.1.3. David Emmerich	133
4.7.1.4. Anthony Pugh	133
4.7.1.5. Daniel L. Schodeck	133
4.7.1.6. Ariel Hanaor	134
4.7.1.7. Renè Motro	134
4.7.1.8. Gernot Minke	135
4.7.1.8.1. Sistemas Tensegrity Abertos	135
4.7.1.8.2. Sistemas Tensegrity Fechados	135
4.7.1.8.3. Sistemas Tensegrity Planos e Abertos	136
4.7.1.8.4. Sistemas Tensegrity Espaciais e Abertos	137
4.7.1.8.5. Sistemas Tensegrity Planos Fechados	138
4.7.1.8.6. Sistemas Tensegrity Espaciais Fechados	139
4.7.1.8.6.1. Sistemas Tensegrity de Ordem 1	139
4.7.1.8.6.2. Sistemas Tensegrity de Ordem 2	140
4.8. Tensegrity- Características Gerais	141
4.9. Tecelagem a mãe da Tensegrity (Snelson, 2007)	142
4.9.1. As cinco células básicas do tecer	143
4.9.2. Estruturas de colunas tecidas	144
4.9.3. Comparação entre poliedros convencionais e poliedros tecidos	145
4.9.4. Tecelagem <----> Tensegrity	145
4.9.4.1. O "Módulo X" transformado em verdadeira estrutura tensegrity	147
4.9.4.2. Conectando módulos para gerar uma Torre	148
4.9.4.3. Malhas de tensão trianguladas	149
4.10. Sinergia	151
4.10.1. O tempo é o menor caminho entre dois pontos	152
4.10.2. A sinergia em estruturas Tensegrity	154
4.11. Os Novos Materiais e a Tensão	156
4.12. Princípios Mecânicos das Estruturas Tensegrity	158
4.12.1. Puxar e Empurrar	158

4.12.2. Tração e Compressão	158
4.13. Construções pelo Sistema Tensegrity	159
4.13.1. As Configurações mais Simples	162
4.13.2. Análise do Equilíbrio	163
4.13.3. Características das Estruturas Tensegrity	164
4.13.4. Bambu - Introdução	168
4.13.4.1. Rizomas Leptomorfos	174
4.13.4.2. Rizomas Pachymorfos	175
4.13.5. O bambu, material apropriado para construções	176
4.13.5.1. Características do Colmo	176
4.13.5.1.1. Os entrenós	176
4.13.5.1.2. Partes mais fortes e mais fracas do colmo	177
4.13.5.2. Propriedades físicas do colmo	178
4.13.5.2.1. Resistência à tração	178
4.13.5.2.2. Resistência à compressão	179
4.13.5.2.3. Resistência à Flexão	180
4.13.5.2.4. Resistência ao cisalhamento (esforço cortante)	182
4.13.5.2.5. Densidade e Gravidade Específica	183
4.13.5.2.6. Teor de umidade	184
4.13.5.2.6.1. O equilíbrio do teor de umidade	184
4.13.5.2.6.2. Ponto de saturação das fibras	184
4.13.5.2.6.3. Retração	185
4.13.5.2.6.4. Rachaduras e Fissuras	186
4.13.5.2.6.5. Condutividade Térmica	186
4.13.5.2.6.6. Dureza	187
4.13.6. A Estrutura Tensegrity onde se pode substituir o aço pelo bambu	187
4.13.6.1. Propriedades mecânicas do colmo	188
4.13.6.2. Diferenças entre Madeira e Bambu	190
4.13.6.3. Principais espécies de Bambu disponíveis nas Américas	192
4.14. Construção Tensegrity com Bambu	194
4.14.1. Autoconstrução possível	196
4.14.2. Tópicos para orientar a construção de um protótipo, em tensegrity, em Bambu	198

4.14.2.1. Propostas de sistemas de fixações de cabos	201
4.14.2.1.1. Modelos de fixações propostos	202
5. Sobre o LILD	206
6. Propostas de Realizações possíveis	211
7. Conclusões	219
8. Referências Bibliográficas	222

Lista de Figuras

Figura 1: Vista aérea de Newgrange (Newgrange and Knowth, knowth.com)	29
Figura 2: Muralha de uma fortaleza Inca e detalhe (foto J.C. Carton/ BRUCE COLEMAN INC.)	31
Figura 3: Vista geral do sítio arqueológico de Stonehenge (foto Lawrence Migdale / PHOTO RESEARCHERS INC.)	32
Figura 4: Fotos da pirâmide pronta e respectivo corte. (foto John G. Ross, ilustração Gerald Eveno)	40
Figura 5: Aqueduto romano na cidade espanhola de Segóvia, com detalhe das furações, para içamento, feitas nos blocos de pedra.(foto Dan McCoy BLACK STAR)	49
Figura 6: A Grande Muralha da China (detalhe). (foto Wendell Phillips)	56
Figura 7: Detalhes da construção de uma catedral, com um guindaste humano, arcosbotantes e arcos ogivais com aduela. (The Builders,1992 p.248) (Ilustr. Harry Bliss e Dale Glasgow)	59
Figura 8: Ponte construída com peças pré-fabricadas sobre o rio Severn 1779, Inglaterra. (foto Michael Holford)	62
Figura 9: Leiter Building - Chicago, USA. (Arquivo Biblioteca do Congresso Americano)	69
Figura 10: Tenda estádio Olímpico de Munique (foto Hetz / MARTIUS)	71
Figura 11: Exemplos de Arquitetura inflável: Leicester Space Center, Pavilhão inflável da Festo AG & Co Alemanha, Frei Otto - AirFish (fotos: Herbie Knott, Frei Otto Archives e Festo AG & Co)	73
Figura 12: Casa Dymaxion (Buckminster Fuller Archives)	95
Figura 13: Banheiro Dymaxion (arquivo: Warren Schepp)	96
Figura 14: Carro Dymaxion (arquivo: Bridgeport Public Library)	97
Figura 15: Mapa Dymaxion (arquivo: Honeywell Inc.)	99
Figura 16: Superfície esférica dividida em triângulos equiláteros, gerada a partir do icosaedro	101

Figura 17: Os sólidos platônicos, fórmulas de desenvolvimento e planificações.	103
Figura 18: Esfera com todos os grandes círculos	104
Figura 19: Um triângulo esférico todo modulado	106
Figura 20: Esfera com senos e co-senos	107
Figura 21: Malha "Truncatable"	108
Figura 22: Ford Dome visto de baixo (arquivo: Ford Motor Company)	109
Figura 23: Domo Polar (Buckminster Fuller Archives)	110
Figura 24: Domo de Papelão (arquivo: U.S. Marine Corps)	111
Figura 25: Detalhe do Domo do Afeganistão (Buckminster Fuller Archives)	112
Figura 26: Foto aérea da fábrica da Union Tank (Buckminster Fuller Archives)	114
Figura 27: Escultura de Karl loganson (1921)	121
Figura 28: Módulo X original de Snelson (Arquivo Kenneth Snelson)	121
Figura 29: Malhas produzidas por tecelagem em dois e três sentidos	142
Figura 30: Giros Dextrogiros e Levogiros que ocorrem nas tecelagens	143
Figura 31: As cinco células básicas do tecer de cabos ou hastes	143
Figura 32: Esfera Tailandesa tecida com rattan, onde se percebe na sua superfície, módulos triangulares, pentagonais e hexagonais	144
Figura 33: Da esq. para dir.: Respectivamente, uma coluna de vinil tecida, malha extensível fabricada com fios metálicos e uma coluna tensegrity com os seus padrões das tramas de cabos e hastes.	144
Figura 34: Poliedros regulares - Tetraedro Regular (esquerda) e Tetraedro Truncado (direita)	145
Figura 35: Poliedros regulares - Octaedro Regular (esquerda) e Cuboctaedro (direita)	145
Figura 36: Diagrama de forças à direita e exemplos aleatórios de formas de pipas	147
Figura 37: A estrutura de uma pipa simples transformada em estrutura tensegrity	147
Figura 38: Módulo de três hastes definido como "prisma de base triangular", e à direita, uma torre construída com três destes módulos.	149
Figura 39: Exemplos de torres tensegrity	150
Figura 40: Substituição da terceira haste por um Módulo x	150

Figura 41: Na página anterior e nesta, exemplos de construções com o Módulo X	151
Figura 42: $1 + 1 = 4$. Com seis bastões idênticos você pode construir dois triângulos que, organizados sinergicamente, formam um tetraedro. Logo um triângulo mais um triângulo é igual a quatro triângulos	153
Figura 43: Ilustração de um Yurt (habitação típica das estepes) mostrando a sua estrutura (ilustração: Allan Sutie / LA MADERA)	154
Figura 44: Colmos de bambu (foto R. Austin, D. Levy, K. Ueda)	169
Figura 45: Telhado de uma casa de bambu, detalhe. (foto R. Austin, D. Levy, K. Ueda)	170
Figura 46: Desenvolvimento do Colmo. Relação entre os comprimentos de fibra nos internós. (Ilust. Oscar Hidalgo-Lopéz)	172
Figura 47: Os dois tipos básicos de Rizoma. (ilust. R. Austin, D. Levy, K. Ueda))	172
Figura 48: Espessuras de paredes das seções internodais do bambu (ilust. Oscar Hidalgo-Lopéz)	181
Figura 49: Discos de pressão para fixação dos cabos no meio das hastes. (desenhos do autor).	201
Figura 50: Fixadores 1 e 2. Cápsulas de metal ajustada no topo da haste. (desenhos do autor).	202
Figura 51: Fixadores 3: Cápsula com ancoragens deslizantes. Fixador 4: Ancoragem por meio malha de nylon. (desenhos do autor).	202
Figura 52: Fixador 5 - Com hastes conectoras deslizantes. Fixador 6 - Anel de metal preso por pressão com furação no topo, para ancoragem dos cabos (desenhos do autor).	203
Figura 53: Fixadores 7 - Anel estrutural em metal para ancoragem das hastes que receberão os cabos. Fixador 8 - Duas lâminas de metal em forma de cruz, encaixadas nos rasgos, com furação para os cabos. (desenhos do autor).	203
Figura 54: Fixador 9 - Idem Figura 51, com oito terminais. Fixador 10 - Disco metálico giratório com furações, aparafusado em bucha de madeira cravada no topo da haste. (desenhos do autor).	204
Figura 55: Fixador 11 - Discos giratórios presos em uma cápsula que entra por pressão, na extremidade da haste. Fixador 12 - Solução para fixação de cabos no meio da haste, sem necessidade de furação. (desenhos do autor)	204
Figura 56: Fixador 13 - Cápsula de metal aplicada por pressão, tendo no topo disco giratório com furação para receber os cabos. Fixador 14 - Anel estrutural com elos para enganchar os terminais dos cabos. (desenhos do autor).	205

Figura 57: Imagens de trabalhos desenvolvidos no LILD (fotos do autor)	207
Figura 58: Estrutura para pontes e carroças (desenho do autor)	211
Figura 59: Passarela para cruzar pequenos rios, ou lugares onde a conectividade biológica, não pode ser destruída por trilhas no solo.(desenhos do autor).	212
Figura 60: Estudos de carroça para tração animal ou humana. (desenho do autor).	213
Figura 61: Primeiro esboço e modelos de chassis. (modelo realizado no LILD pelo autor).	213
Figura 62: Primeiro estudo para abrigo ou depósito. (desenho do autor).	214
Figura 63: Projeto mais elaborado de um abrigo, com base na figura 60. (desenho do autor)	215
Figura 64: Modelo da Casa Tensegrity (fotos do autor).	216
Figura 65: Chamo a atenção para o projeto da casa uma vez que é um exemplo de tensegrity puro. A estrutura é autoportante e funciona como um monobloco podendo ser deslocada como um objeto, sem se deformar e ficar no seu locus sem a necessidade de fundações. (foto do autor)	217