

1. Introdução

1.1. Objetivo Principal

Exportar para o meio externo à universidade técnicas estudadas e desenvolvidas no LILD/LASE – Laboratório de Sistemas Estruturais – muitas delas já testadas em seu uso – que utilizam materiais colhidos diretamente da fonte e pouco processados, e meios operacionais simples de produzir e de manutenção não especializada.

1.2. Objetivo Secundário

Escolher espaços identificados como possíveis de estarem em condições para combinar os conhecimentos, materiais e habilidades próprias daquele lugar às técnicas vindas da universidade. Promover eventos de atividades que misturam aprendizado teórico-prático a construções comunitárias. Coletar os dados decorrentes das experiências vividas nos eventos, com a finalidade de manutenção de um sistema de retroalimentação do corpo de conhecimento do laboratório.

1.3. Questão ou Hipótese

É possível em comunidades, cujos bens materiais estão sujeitos aos custos relativos ao meio de produção industrial e ao tráfico desses bens, empreender movimentos para reverter essa dependência, fazendo com

que os membros da comunidade sejam os seus próprios objetos em atividades solidárias de autoconstrução ?

O fato de as construções propostas diferirem, na aparência, das convencionais ali existentes poderá ser um fator complicador para que essas diferentes construções sejam aceitas pela comunidade?

Será que com leituras, conversas, atividades e concretizações que remetem os seres humanos que somos às coisas de nosso ambiente primordial seja possível nos reaproximarmos da natureza, do mundo físico e biológico do qual fazemos parte ?

Será possível sairmos da condição prisioneira de um sistema institucionalizado de serviços que promete e não cumpre, libertar-nos do esforço e do suor para a sobrevivência e recuperar o uso de nossas potências inatas que nos permitem comandar nossa própria vida?

1.4. Justificativa

Observamos ao longo da pesquisa (Laboratório Oficina de Treinamento e Desenvolvimento de Protótipo-LOTDP/Laboratório de Investigação em Living Design-LILD) que os fenômenos ocorridos quando as técnicas laboratoriais são colocadas à prova em construções para determinada localidade, com especificidades físicas e culturais próprias, surpreendem, fogem dos nossos prognósticos e não se repetem ao serem experimentadas em outras localidades.

Da sucessão desses fenômenos, que são sequenciais a interações entre meios e técnicas nas diferentes localidades, decorrem a dinâmica do conhecimento técnico e seu aperfeiçoamento. A saber, tanto as estruturas amarradas quanto as autencionadas utilizam beneficiamentos simples durante sua realização. As amarradas conjugam elementos de bambu justapostos entre si pela união de cabos atados. Já as autencionadas integram os elementos de bambu justapostos entre si pela união de cabos atirantados. Ambos os sistemas estruturais dispensam parafusos e conectores independentes. A leveza do bambu, pelo fato de ser um material de alta resistência mecânica, associada à forma oca, torna fácil o manuseio, o transporte e a montagem dessas estruturas.

O desenvolvimento da pesquisa continuada permitiu que o laboratório iniciasse experimentos com modelos físicos e protótipos na área do Design e dessas estruturas para aplicações arquitetônicas.

1.5. Antecedentes

Estruturas estabilizadas pela união entre bambus e cabos são empregadas desde os tempos longínquos da civilização. Elementos de bambu são atirantados ou amarrados entre si, permitindo distintas aplicações, tais como: pipas, aeronaves, pontes, habitações e andaimes.

O ato de ascender aos céus transita pela sociedade humana. O uso do bambu na elaboração de pipas, seja em suas estruturas ou nos revestimentos, remonta o tempo primórdio na Ásia. Objetivos variados de aplicações demonstram a versatilidade da pipa: em momentos de transporte de oferendas para o louvor nas cerimônias religiosas ou na elaboração de equipamentos militares usados em batalhas campais¹.

Com a intenção de unir os povos de maneira pacífica e acessível, Alberto Santos Dumont gerou conhecimento no meio fluido e terrestre. Utilizando o método da tentativa e erro, declarou: "O inventor não faz saltos, e, sim, progride de manso, evolui"². A harmonia na organização entre os componentes de suas aeronaves é feita com simplicidade e leveza.

Atualmente, algumas exposições comemorativas³, livros e fotos da época despertam a curiosidade no mundo, desde curiosos admiradores até profissionais: aeromodelistas, engenheiros aeronáuticos, arquitetos, designers, artesãos, pilotos da aviação experimental, civil e militar. As confecções estruturais das aeronaves de Alberto unem elementos delgados de madeira/bambu interligados por cabos de piano e a história de seus experimentos demonstra perseverança.

¹ FARALEY, D. *The Book of Bamboo*, p. 48.

² Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

http://fcmf.org.br/sitenovo/central_arquivos/22-arquivo.pdf.

³ Centro Cultural dos Correios, *Exposição 100 anos do 14 Bis*, nov. de 2006 a jan. de 2007.

Após o acidente no dirigível nº 2 (dois), ele elabora rapidamente o de nº 3 (três), que ascende em 1899 (mil oitocentos e noventa e nove), fixando a haste de bambu com 10m (dez metros) de comprimento [5], usando cordas suspensas no invólucro de gás e fazendo um vôo de sucesso [fig.1].



Fig.1- haste de bambu suspensa no dirigível nº3.

Em sua aeronave nº 5 (cinco) ele projeta uma nova estrutura de viga treliçada e autotencionada, feita com madeira, pinos metálicos e cabos de piano. Com isso há a diminuição do peso e da resistência aerodinâmica. Buscando o prêmio *Deustch*⁴, ele também realiza seguidas ascensões com o dirigível nº5 (cinco) [fig.2].



Fig.2- Uso de viga treliçada autotencionada no dirigível nº5.

⁴ Santos Dumont – Uma Homenagem.
http://www.cabangu.com.br/paj_da_aviacao/5demois/pg05.htm

No acidente em 8 (oito) de Agosto de 1901 (mil novecentos e um) no hotel Trocadero, Alberto se ampara na viga treliçada autotencionada do dirigível nº5 (cinco) pendurada na parte alta da edificação, até o resgate dos bombeiros [fig.3].



Fig.3 - no acidente amparado pela viga treliçada autotencionada do dirigível nº5.



Fig.4 - viga treliçada autotencionada no dirigível nº9.

Evoluindo na construção dos dirigíveis, ele chega ao nº9 (nove), sendo o menor e o mais simples montado até então (Barros, 1986). O desejo de buscar prêmios já não existe mais e sim o de ter um veículo para passeio. A aeronave nº9 (nove) se encontra montada no hangar, pronta para realizar deslocamentos aéreos. Sobrevoa Paris e seus arredores, inserindo o bojudo balão amarelo no cotidiano desta cidade [fig.4].

Estimulado pelos resultados anteriores com veículos mais leves que o ar, Alberto inicia uma fase com os mais pesados. Buscando conhecer o equilíbrio do aeroplano 14 (quatorze) *Bis*, anexa-o ao dirigível de N° 14 (quatorze) [fig.5].

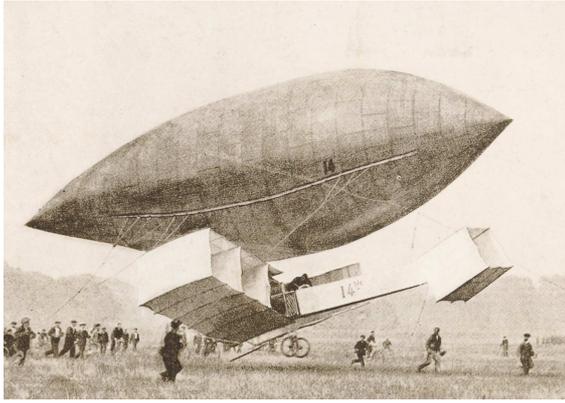


Fig.5 – Híbrido: dirigível nº14 + aeroplano 14 *Bis* .

Para experimentar também sua estabilidade, ele desenvolve um sistema de ensaio fixando cabos de aço em dois altos postes, suspendendo o aeroplano e rebocando-o por um burrico.

Em setembro de 1906, Alberto realiza o primeiro vôo com o 14 (quatorze) Bis⁵ no Campo de Bagatelle. Ele decola por meios próprios e caracteriza o primeiro vôo documentado até então [fig.6], percorrendo 60 (sessenta) metros com altura de 3 (três) metros⁶.

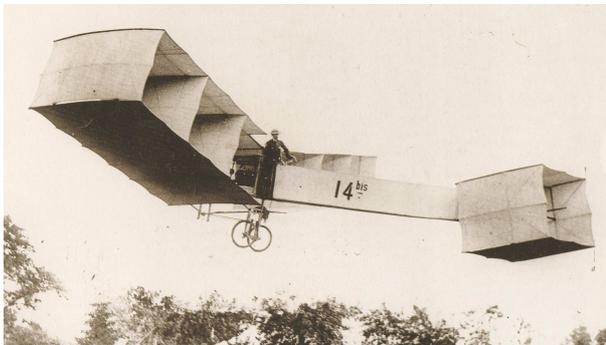


Fig.6 – Conduzindo o 14 *Bis* por vontade própria.

Santos Dumont inaugura a fase de estruturas que ascendem com menores volumes. Na sequência dos experimentos aéreos antecessores, ele utiliza em seus desafios aéreos conhecimentos de mecânica estrutural, relacionando bambus, compensados de madeira, cabos de piano, peças metálicas, motores, tecidos de algodão e seda. Ele torna-se, então, a referência de acessibilidade ao vôo na Europa e América do Norte.

⁵ Cf. nota 4 deste capítulo.

⁶ *Idem*.

Em 1907 (mil novecentos e sete), Dumont elabora o novo avião chamado *Demoiselle*, conhecido popularmente como Donzela, Libélula ou *Dragon-Fly*.

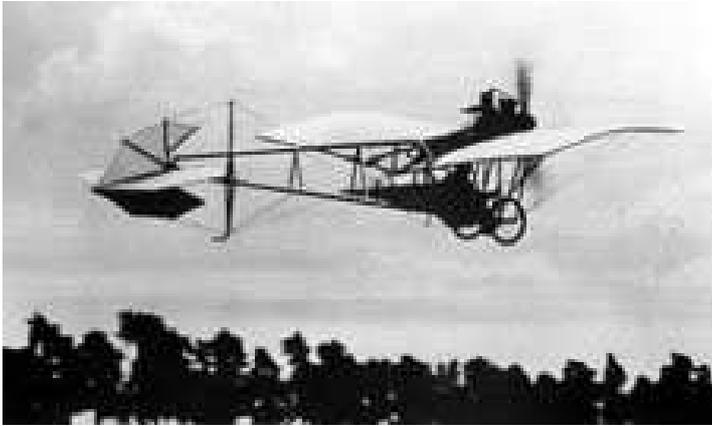


Fig.7 – *Demoiselle* em pleno vôo.

Esse aeroplano demonstra facilidade na decolagem, na manutenção de um vôo estável e segura aterrissagem. Para isso, ele realizou modificação na estrutura do aeroplano, que ganhou rígidas na cauda ao trocar um segmento de bambu por três, configurando a cauda com seção triangular [fig.7].

Algumas fábricas iniciaram a produção do *Demoiselle* ao final de 1909 (mil novecentos e nove), o que resultou na produção de 40 (quarenta) unidades, sendo cada uma delas adquirida pelo preço de um automóvel médio.

Dumont supervisionava a execução e a regulagem dos aparelhos comercializados. Tornou-se a aeronave precursora do ultraleve moderno, porque permitia ser desmontada, transportada em veículos de passeio para local de montagem e decolagem, aumentando com isso sua área de atuação [fig.8].

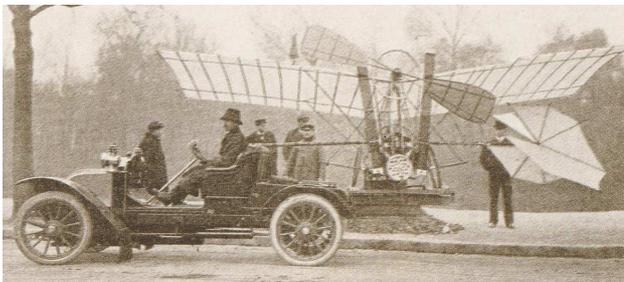


Fig.8 – Desmontabilidade e transporte.

Em 1910, o projeto do *Demoiselle* foi publicado na revista científica *Popular Mechanics*, e sua aeronave estava disponível para aqueles que almejassem seu fabrico⁷.

Outro precursor no desenvolvimento e na aplicação de estruturas tensionadas por cabos foi o estudante americano de pintura Kenneth Snelson, na *Black Mountain College* (Hearteney, 2009). No ano de 1948, ele começou a se interessar pelos conceitos de tensão e compressão, ensinados nas aulas de Richard Buckminster Fuller (Shelter, 1979).

Após dois meses de atividades com o prof. Fuller, K. Snelson concretizou experimentos estimulados pelos conceitos apresentados pelo professor (Shelter, 1979), confeccionando modelos físicos reduzidos na forma e similar à de uma espinha dorsal [fig.9].

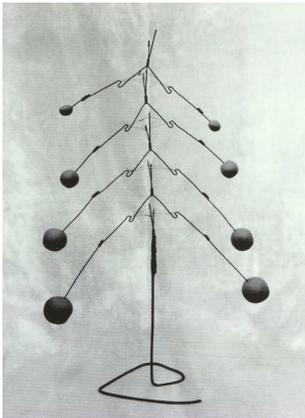


Fig.9 – *Moving Column, 2nd Study, 1948.*

K. Snelson constatou que ao conjugar materiais como arame, barro e fios é possível se obter um sistema estrutural estável⁸.

Transmitindo a sensação de fluabilidade em suas esculturas, os resultados aprovados com esse princípio o estimularam a aumentar experimentações e dimensões da obra, inventando assim o mastro de *tensigrity*.

A palavra *Tensigrity* foi inventada por Fuller⁹; ela é a conjugação de duas palavras em inglês: *tension* + *integrity*. Essa palavra é traduzida como tensão integral ou

⁷ Cf. Nota 4 deste capítulo.

⁸ Site de Kenneth Snelson: <http://kennethsnelson.net/1970/new-york-times>

⁹ *Idem.*

tensigridade, característica do sistema estrutural equilibrado pela tração e compressão.

Fuller foi um filósofo, inventor e professor, cujo trabalho mais difundido é o estudo das estruturas geodésicas (Lotufo & Lopes, 1974). Ele investigou a estrutura óssea das radiolárias¹⁰ gerando conhecimento sobre geometria

geodésica. Também realizou modelos, patenteou, comercializou produtos, elaborou habitações, ginásios e pavilhões¹¹, obtendo, com o mínimo de material, o máximo em eficiência estrutural permitida pela forma, que possui arquétipo naturalmente resistente.

Valorizando a atitude experimental investigada entre formas, materiais e processos, menciono a cúpula geodésica com resina de poliéster e fibra de vidro realizada na cidade do Rio de Janeiro nos anos 70, pelo escultor Edgar Duvivier e o orientador desta monografia [fig.10].



Fig. 10 - Geodésica do Sumaré.

Nessa ocasião, os cálculos da geometria geodésica não se encontravam disponíveis para o acesso imediato. Esses dados foram obtidos experimentalmente através de modelos físicos reduzidos e protótipos.

Em 1991 e 1992, o aluno de graduação, bolsista do laboratório pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq, Alessandro Ubézio, apresentou como trabalho de conclusão (Ripper; Moreira;

¹⁰ OOCITIES. Site que contém informações e fotos sobre Radiolaris.
<http://www.oocities.org/br/mundodosinvertebrados/radiolarios.htm>

¹¹ Buckminster Fuller Institute: <http://bfi.org>

Ubézio,1995) do curso de Artes & Design os resultados da pesquisa em estruturas geodésicas de bambu do LOTDP [fig.11].



Fig. 11 - Geodésica de bambu desenvolvida no LOTDP.

Por ser uma estrutura leve e desmontável, divulgamos os resultados desse trabalho itinerantemente em eventos pelo país. A aplicação do processo utilizando conexões metálicas foi apresentada, publicada em eventos nacionais e internacionais, como feiras e congressos.¹²

Snelson montou em 1968 para coleção do *Hirshhorn Museum & Sculpture Garden, Washington, D.C*, a escultura *Needle Tower* [fig.12], erguida nas dimensões de 18.2 x 6 x 6m e estabilizada pela relação entre tubos de alumínio e cabos de aço.

¹² a) V EBRAMEM - Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas em Madeira. Minas – Centro, Belo Horizonte, 19 a 21 de Julho de 1995; b) I Seminário de Bambu da PUC-Rio Para Aplicações em Engenharia Civil - Arquitetura - Desenho Industrial. PUC-Rio, Setembro de 1995; c) Bamboo Seminar at University of Hawaii, June- 1996 ; d) ABMTENC - Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não - Convencionais. 14 a 18 de Novembro de 1998 , IAB - Instituto de Arquitetos do Brasil; e) International Conference 2º International Non-Conventional Constructions Materials (2º NOCMAT/ 97); 17 À 19 de Junho, 1997. Bhubaneswar - Índia; f) V International Bamboo World Congress, 2 a 6 de Novembro,1998, San Jose, Costa Rica.



Fig. 12 - *Needle Tower* .

No ano de 2001, Snelson alterou a geometria dessa escultura [fig.13], ampliou as aplicações do *tensigrity* e montou escultura denominada *Rainbow Arch*.



Fig. 13 – *Rainbow Arch*.

Segundo Snelson, a forma de conjugação desse sistema estrutural composto por barras e cabos, é similar às técnicas usadas em cestaria.¹³

Mantemos no LILD troca de mensagens eletrônicas com Snelson, desde quando comprovamos

¹³ Weavin, Mother of Tensigrity. www.kennethsnelson.net/icons/scul.htm

neste laboratório, em 1997, que resultados se apresentaram satisfatórios nas investigações em que o bambu foi aplicado nesse tipo de sistema estrutural. Recentemente, quando enviei fotos do resguardado de pranchas autotencionado de bambu em uso, que descreverei no próximo capítulo, Snelson retornou o contato demonstrando suas experimentações com bambu em estruturas do tipo *tensigrity*. Disponibilizou fotos e informações, de quando usou bambu e cabos de nylon nas experimentações com essas esculturas, realizadas em Ibiza no ano de 1971 [fig.14].

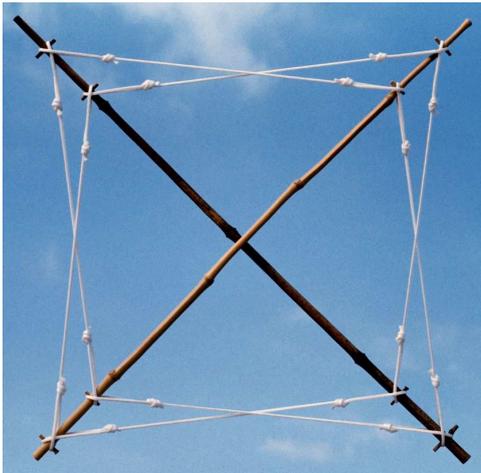


Fig. 14 – escultura feita por K. Snelson em Ibiza.

Aplicação de laçadas nos colmos de bambu é fato comum nos princípios estruturais abordados nesta tese. Fazer pontos de união possibilita reunir esforços durante a tração dos cabos. Esse gestual técnico de simples treinamento e execução, é

aplicado tanto nas técnicas das estruturas amarradas como nas autencionadas.

Unir elementos através de amarrações é apresentado e aprendido desde a infância, quando é dada autonomia à criança para fazer seus brinquedos e dar o laço nos seus calçados. Essa técnica ancestral viabilizou, ao longo da história, eficientes estruturas treliçadas com elementos longos e delgados amarrados entre si. Materiais de origem vegetal, animal ou sintética, como cabos, cordas, fitas e arames, ampliam possibilidades de práticas nos diversos contextos e situações.

Conhecer e aplicar envolvem distintos fatores na experiência do fazer. O virtuoso gesto técnico de atar e desatar está presente no brincar das crianças, no mister da esportividade dos alpinistas, na segurança da construção

civil, nas práticas dos marinheiros e dos camponeses. Em uma série de regiões do planeta as amarrações são utilizadas para os mais diversos fins.

É propício citar constatações sobre o uso das estruturas de bambu em cidades asiáticas, por ocasião da divulgação dos resultados da pesquisa do LILD e a realização de um curso.

O uso de amarrações em estruturas de bambu [fig. 15] foi primeiramente observado no evento organizado pela ABMTENC ¹⁴, que tem como presidente o professor Kosrow Ghavami ¹⁵, o qual iniciou em 1979 pesquisa científica sistemática sobre o bambu na PUC-Rio. Participei, como integrante da equipe de pesquisadores, do LOTDP durante o evento 2^o NOCMAT/97 (Ripper & Silva, 1997), realizado na Índia e, posteriormente, de um curso na China no ano de 2000 (dois mil) ¹⁶.

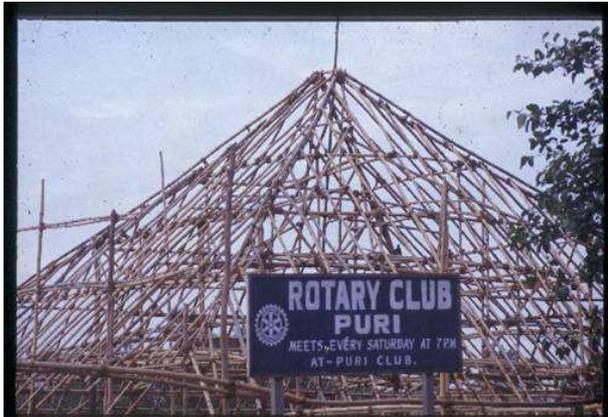


Fig. 15 – estrutura de bambu na Índia.

Comprovando trivial utilização das amarrações entre bambus nas estruturas montáveis e desmontáveis para uso na construção de edificações. Na China, um dos principais usos está na aplicação dos colmos em andaimes, que até a década de 80 (oitenta) eram amarrados por tiras extraídas da parte externa de seus colmos.

O ato de se beneficiar tiras da casca do bambu para aplicação em andaimes foi substituído pela aplicação

¹⁴ Associação Brasileira de Ciências, Materiais e Tecnologias não convencionais – ABMTENC. [HTTP://www.abmtenc.civ.puc-rio.br/br-historico.html](http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br/br-historico.html).

¹⁵ O PhD Kosrow Ghavami é professor titular do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, [HTTP://buscatextual.cnpq/buscatextual/vizualizacv.jsp?id=K4783888Y1](http://buscatextual.cnpq/buscatextual/vizualizacv.jsp?id=K4783888Y1).

¹⁶ Fui convidado pelo Governo da República Popular da China, através do Ministério de Ciência e Tecnologia & da Câmara de Comercio Internacional, em participar do “2000 CHINA INTERNATIONAL TRAINING COURSE ON BAMBOO”, organizado pelo CBRC – China Bamboo Reserarch Center, na cidade de Hangzhou, de 5 de setembro a 20 de outubro de 2000.

das tiras de poliestireno, um tipo de plástico. Essa tira contém depressões e relevos alternados em sua superfície, o que aumenta sua área de contato e atrito nas amarrações dos bambus e torna possível a absorção de cargas de torção, integrando resistência com leveza e acompanhando o bambu em seu comportamento estrutural elástico.

Indicados em estruturas sujeitas por solicitações dinâmicas extraordinárias causadas pela atividade das forças naturais intensas como tremor de terra e/ou furacões, as estruturas de bambu amarradas não necessitam de furos, encaixes ou colagens, e os elementos estão praticamente prontos para o uso [figs. 16 e 17].



Fig. 16 – operário da construção civil em andaimes na China.

O bambu pode ser conectado a outro por uma série de maneiras e materiais, sendo comum o uso de arames, cipós, cordas feitas de fibras vegetais fiadas e por fios sintéticos contínuos.



Fig. 17 – malha de bambus nos andaimes chineses.

Como citado anteriormente, constatei características industriais e artesanais no uso do bambu na China. Por ser comum na cultura daquele país, observamos durante visitas no contexto urbano e rural, o uso de estruturas amarradas. Durante o curso realizado na cidade de *Hangzhou*, foi possível perceber que o uso de estrutura amarrada viabiliza a passagem da comunidade no espaço urbano cortado por vala [fig.18].



Fig.18 – pequena ponte com bambus amarrados.

Devido ao sistema de amarrações, provavelmente a sua manutenção simplificada é feita pela própria comunidade.

Quanto à forma dos nós utilizados nas amarrações, elas variam conforme a cultura da região de cada país e a utilidade do objeto. Podemos notar fartura na forma das amarrações e nos materiais utilizados na realização dos nós.

A história do emprego dos objetos feitos de bambus e de mais madeiras amarradas por fibras vegetais, o registro da feitura desses objetos, em geral, é prejudicada pelo fator biodegradável desses materiais. Os traços da cultura material brasileira antes de 1500, reconhecida por ter sido, segundo a antropóloga Berta Ribeiro, uma civilização vegetal, foram, em sua maioria, biodegradadas. Em algumas regiões do país, pode-se constatar indícios diretos dessa forte presença.

No trabalho que a equipe do LILD efetuou junto à aldeia dos índios *KUAA MBO'E* Guarani, situada em Bracuhy, no sul fluminense, pudemos notar, pela habilidade demonstrada por estes indígenas em suas atividades diárias, que eles ainda realizam em seu dia a dia objetos de artesanato e de arquitetura, tais como cestos, esculturas de animais, adornos corporais, paredes de pau-a-pique, coberturas de sapê em suas habitações e em casas de culto.

Destaco o emprego da matéria vegetal brasileira submetida à cultura mestiça na relação silvícola. Foram notadas mudanças decorridas, provavelmente, pela miscigenação cultural, fruto dos frequentes contatos dos índios com os habitantes das cidades próximas. Um exemplo dessa miscigenação seria o modo de utilização do bambu nas paredes de pau-a-pique, a utilização de arames e pregos no lugar de cordas, cipós e pinos de madeira, entrecruzando elementos de bambu e madeira.

Em trabalho ligado à dissertação de doutorado de Leonardo Xavier (Ripper & Xavier, 2009), em que registrou em modelos e protótipos o resgate da utilização das amarrações na aplicação entre tramas de bambus e madeiras, foi realizado uma grelha de bambu amarrada por embira. Na Vila de Trindade, no município de Paraty, RJ [fig.19], bambus são rachados longitudinalmente e divididos.



Fig.19 – amarrações com fibras vegetais entre bambus.

Amarrados entre si, os colmos de bambu, com diâmetros inteiros e divididos, conjugam-se aos caules de madeira obtendo grelhas para aplicação do barro.

O estudo de conexões simples para estruturas de bambus autotencionadas, desenvolvidas no LOTDP e descritas no relatório de estágio, investigaram os variados tipos de materiais e processos ¹⁷. Realizamos um prisma triangular com planos de cruzetas. Em cada plano experimentamos distintos tipos de conexão entre bambus e cabos atirantados, preparando um modelo para posterior aplicação de carga. Esse experimento gerou resultados satisfatórios e estimulou o prosseguimento de estudos sobre as estruturas com novas geometrias e dimensões.

Em outro modelo, utilizando cruzetas de conexões do tipo capuchinho, realizamos um teste utilizando carga humana dinâmica de aproximadamente 75 kg [fig.20].

¹⁷ Durante o período de 1996.2 e 1997.1, efetuei o Relatório de Estágio Supervisionado, ART 1900. Professora Ana Maria Branco da matéria oferecida pelo Departamento de Artes & Design.



Fig. 20 – Prisma Autotencionado com bambus e cabos.

Técnicas em estruturas de bambu autencionadas por cabos foram compartilhadas em regime de mutirão pelos alunos, professores e visitantes durante um evento para comunidade PUC-Rio, demonstrando trabalhos de pintura do professor homenageado e de seus alunos ¹⁸. Posteriormente desdobramos esses trabalhos oportunamente, em modelos físicos e protótipos experimentando estruturas pré-montadas de bambus e cabos.

Durante o curso de mestrado realizei atividades nos estudos de casos, aplicando modelos e protótipos em distintos contextos com seus respectivos interlocutores. Objetivando a práxis no tema das estruturas de bambu autencionadas e amarradas, nesta monografia descreverei, no capítulo 2 (dois), essas concretizações. O trabalho amoroso e detalhado de transmitir o modo de fazer objetos, de um local, como o LILD, para outro, em um espaço de convivência, implica na construção de um novo objeto, aberto às interpretações dos grupos deste novo local. O principal objetivo desse transporte não está no possível valor de uso do objeto, mas no efeito da relação político social desse ato.

¹⁸ *Manifesta Paixão* foi uma exposição organizada por alunos em homenagem ao professor e artista plástico Urian Agria de Sousa, Vice-Reitoria Comunitária.