

ARQUITETURA EM BAMBU: Técnicas construtivas na utilização do bambu como material arquitetônico.

FÁBIO LANFER MARQUEZ

ORIENTADORA: **Prof.(a) Dr.(a) Célia Regina Moretti Meirelles**

INICIAÇÃO CIENTÍFICA - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PIBIC Mackenzie - 2006

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de contribuir para a consolidação da utilização do bambu como material estrutural na arquitetura brasileira. Os estudos realizados foram divididos de forma a demonstrar a abrangência deste tema, dando um panorama técnico e referencial para a construção com este material. Foram estudadas na pesquisa as principais técnicas construtivas e os processos necessários para a utilização do bambu com a finalidade estrutural. Foi avaliada, através de ensaios em laboratório, a resistência do bambu *Phyllostachys pubescens*, ou bambu moso, sendo testadas amostras à compressão, tração e cisalhamento, demonstrando as principais características do material. Os ensaios foram realizados com base nos trabalhos desenvolvidos por Khosrow Ghavami na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, nome que é hoje tido como autoridade no assunto. Algumas das principais tecnologias de construção com bambu, com o foco na sua adaptabilidade a realidade brasileira, foram explicitadas através de estudos de caso. Foram realizadas visitas a obras referenciais, como as projetadas por Simón Vélez para o Hotel do Frade em Angra dos Reis, no

Estado do Rio de Janeiro e o pavilhão da ONG IBIOSFERA projetado pelos arquitetos Edoardo Aranha e Francisco Lima em Pedro de Toledo, no Estado de São Paulo. Estas três etapas do trabalho visam demonstrar a viabilidade técnica da utilização do material, e chamar a atenção para suas características e sua linguagem, para que possam ser utilizados como referências projetuais.

PALAVRAS CHAVES: 1. Arquitetura; 2. Bambu; 3. Construção.

ABSTRACT

The present study has the objective to contribute with the consolidation of the use of bamboo as a structural material in the Brazilian architecture. Our studies had been divided in order to demonstrate this wide-ranged subject, and to give a referential and technical prospect for the construction with this material. The main constructive techniques and the procedures that are necessary for the use of bamboo for structural purposes had been studied in this research. The resistance of the *Phyllostachys pubescens* bamboo, or moso bamboo was evaluated through assays in laboratory and samples were tested for compression, traction and shear forces, demonstrating the main characteristics of the material. The assays had been carried out based on the work developed by Khosrow Ghavami at the Pontifical University Catholic from Rio de Janeiro. This author has been considered an authority on this subject. Some of the main bamboo construction technologies, focusing its adaptability to the Brazilian context, had been explained through case studies. Some referential buildings had been visited, as the projects from Simón Vélez to the “Hotel do Frade” in Angra Dos Reis, state of Rio de Janeiro. Another example is the pavilion of IBIOSFERA ONG projected by the architects Edoardo Aranha and Francisco Lima in Pedro de Toledo, state of São Paulo. These three joined research parts aim to demonstrate the technical viability to employ this material in construction and to attempt for its characteristics and architectural language. This study may be used as a reference for architectural projects.

KEY WORDS: 1. Architecture; 2. Bamboo; 3. Construction

1. INTRODUÇÃO

O ensino e a prática arquitetônica têm demonstrado uma tendência cada vez mais evidente na busca pela diminuição do impacto ambiental causado pela construção civil. Dentro deste processo, a vinculação do projeto arquitetônico sustentável à utilização de materiais renováveis tem se mostrado o caminho mais direto para a manutenção do ecossistema, preocupação que envolve o foco de atuação não apenas dos arquitetos, mas também dos demais profissionais ligados à construção.

A compreensão dos processos sustentáveis como base para concepção projetual é fundamental para o desenvolvimento do estudante e do arquiteto. As principais referências sobre arquitetura no Brasil descartam o uso do bambu como elemento estrutural e arquitetônico. Sendo assim, o material disponível sobre o assunto é escasso e tem obtido pouca repercussão dentro dos cursos de arquitetura.

Outra tendência existente na prática arquitetônica se caracteriza pela crescente busca de sistemas construtivos industrializados e pré-fabricados, que se adaptam melhor ao ritmo acelerado do mercado imobiliário nas cidades. Este processo tem contribuído para a marginalização dos métodos construtivos vernaculares, mais artesanais e, portanto desconhecidos na indústria da construção.

O desenvolvimento deste trabalho traz como principal questão a pouca expressividade da utilização da técnica do bambu dentro do panorama da arquitetura brasileira, confrontada com as condições favoráveis do solo e clima brasileiros para o desenvolvimento de sua cultura. As características do bambu como resistência, leveza, fácil manuseio, grande proliferação em plantações e seu caráter de material renovável nos levam à questão do por quê não utilizar com maior frequência o bambu como matéria prima na construção civil.

Através do estudo de algumas das obras mais expressivas deste método construtivo, investigaram-se as possibilidades de aplicação do bambu estrutural na construção civil, e foram identificadas algumas das técnicas construtivas

existentes mais adaptadas à realidade brasileira. As técnicas utilizadas com bambu existentes em outras regiões do mundo, principalmente na Ásia, são milenares e a bibliografia sobre o assunto é extensa, porém dificilmente encontra-se material a respeito no Brasil. As recentes pesquisas publicadas pelas principais universidades do país, embora ainda não acessíveis a um público mais generalizado, revelam o grande potencial do Brasil neste campo de conhecimento e produção arquitetônica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Desde a pré-história o bambu é muito utilizado na construção civil, principalmente na China e no sul Asiático, na construção de habitações e pontes. Estas pontes, construídas há cinco mil anos, utilizavam cabos feitos de fibras de bambu e tinham uma incrível capacidade de vencer grandes vãos.

O uso do bambu no continente asiático é bastante disseminado na construção de casas, na confecção de utensílios domésticos e de implementos agrícolas, como ração animal, na alimentação humana e, ainda, como medicamento. (RECHT; WETTERWALD, 1994)

Nenhuma planta tem sido utilizada tão extensamente e intensamente quanto o bambu na Ásia. Um exemplo milenar referencial na arquitetura em bambu é o Taj Mahal, que recentemente foi reformado e sua estrutura milenar de bambu foi substituída por aço.

No setor da construção civil, o uso do bambu é bastante difundido também em vários países da América Latina, como: Peru, Equador, Costa Rica e Colômbia, onde vários exemplos de edificações confirmam sua potencialidade como material de construção civil. Atualmente existe uma busca em tornar o bambu uma opção de material construtivo, trazendo-o para além das técnicas vernaculares, formas de construção tradicionais e artesanais.

Um projeto contemporâneo, e de grande repercussão, foi o pavilhão construído para a Expo-Hannover 2000, pelo arquiteto colombiano Simóm Vélez na Alemanha. Esta construção utilizou o bambu Guadua, a apresenta balanços de até

7 metros, com grandes avanços nas técnicas de união entre as peças de bambu. Com alta flexibilidade e resistência de suas fibras, o bambu é uma planta utilizada também no desenvolvimento de habitações à prova de terremotos.

No ano de 1992, foi criado o programa “Joint Research Program on Natural Structures” por um grupo formado pelo escritório do arquiteto Renzo Piano de Gênova, a Unesco de Paris, e o escritório de engenharia Ove Arup & Partners de Londres. Eles realizavam experimentos e pesquisas no Laboratório Unesco/Building Workshop em Vesima na Itália. Consideravam a natureza como referência nos processos de design e construção, estudando fibras naturais de espécies vegetais, seus usos e combinações com outros materiais. Buscaram desenvolver sistemas construtivos novos, leves resistentes e de baixo custo. Não havia a preocupação de expor resultados conclusivos, mas nesta primeira fase, levantaram questões técnicas sobre a utilização do bambu. A principal fonte utilizada por eles foi o extenso documento “Bambus-Bamboo”, baseado nos estudos de K.Dunkelberg e publicado pelo “Institute for lightweight Structures” da Universidade de Stuttgart, dirigido pelo arquiteto alemão Frei Otto. (DUNKELBERG, 1985)

Algumas características estudadas pelo instituto, colocadas na citação a seguir, reforçam a concepção do bambu como um material viável e economicamente desenvolvidor. “Disponível em quase todo o mundo, adequado a construções de baixo custo, o popular bambu pode ser integrado à produção moderna de edificações e estruturas. Vigas, arcos, cúpulas, pórticos, telhados; tendas, casas, templos, vilas inteiras são produzidos há centenas de anos por uma arquitetura tradicional. Um olhar atento a essa produção pode revelar soluções novas, que incorporem tecnologia, como as juntas estruturais desenvolvidas no Joint Research Program on Natural Structures” (MORADO, 1994).

O bambu é classificado no campo da botânica como *bambuseae*, que consiste um conjunto pertencente à extensa família das gramíneas, uma planta lenhosa, e também classificada como angiosperma e monocotiledônea.

A resistência apresentada pelo bambu à tração é maior do que a da madeira e do concreto, sendo superada apenas pelo aço. Ao analisarmos as relações entre peso específico e resistência à tração do bambu, podemos chegar a conclusão de que este possui uma alta eficiência estrutural, melhor até do que os materiais estruturais mais usuais. Portanto, um material de grande leveza e alta resistência mecânica, "...ficando atrás apenas do titânio e do Kevlar." (GLENN, 1950).

Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, o bambu se mostra uma ótima alternativa construtiva em substituição à madeira, já que esta cresce muito mais lentamente que a primeira, atingindo seu tamanho ideal para corte numa média de 30 anos ou mais. "O bambu é a planta que cresce mais rápido, podendo crescer até 25 centímetros por dia. Algumas espécies completam seu crescimento em 40 dias, mas apenas depois de 3 anos se inicia o processo de lignificação e silificação". (MORADO, 1994)

A palavra bambu possui uma origem misteriosa. É atribuída a Ctesias, o médico da corte da Pérsia, a autoria dos primeiros escritos sobre o bambu. Uma das histórias por ele escrita, cita a cana da Índia como elemento utilizado pelos povos da Índia oriental para fabricação de canoas. Outros textos antigos indicam, porém que a palavra bambu vem de *mambum*, nome dado pelos nativos *Mambu* para a planta na região da Índia.

Valenovsky sustenta que o bambu tem sua origem na era Cretácea antes da era Terceária, onde o homem apareceu. Na pré-história o bambu fazia parte significativa da vida do homem. Um dos principais elementos da idografia chinesa, denominado "chu" é a representação em desenho de dois caules de bambu com ramos e folhas, figura esta que se estilizou com o tempo. (VIDAL, 2003)

3. METODOLOGIA

O presente estudo sobre o uso do bambu na arquitetura, com um foco estrutural, passa necessariamente pelo estudo do material e dos processos envolvidos até a sua utilização. A pesquisa foi dividida em três partes para que se pudesse estudar o material com sua devida abrangência, porém formatada de forma a dar um panorama específico da aplicação deste na arquitetura.

A primeira parte do trabalho consistiu então, a partir de um levantamento de dados, na descrição do material e dos processos mais relevantes para a utilização deste na estrutura.

A segunda parte aqui descrita trata-se de um embasamento teórico-prático, feito através de ensaios de resistência, para se comprovar a possibilidade estrutural. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio e Caracterização de Materiais (da Escola de Engenharia de Materiais) com os técnicos Luis Henrique e Maria Liúba; e no Laboratório de Estruturas (da Escola de Engenharia Civil), com o técnico Abner Cabral Neto e com o professor Daniel Benítez Barrios. Os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Usinagem II da Escola de Engenharia Mecânica, e na marcenaria da Faculdade de Desenho Industrial.

Por fim, na terceira parte, os estudos de caso mostram obras realizadas em bambu, como forma de demonstrar a viabilidade técnica destas construções, e explicitar sua linguagem na arquitetura. Através disto, pretende-se que possam ser utilizadas como referências projetuais. No primeiro estudo de caso foi realizada a visita aos projetos de Simóm Vélez no Hotel do Frade & Golf Resort, com o apoio do engenheiro agrônomo Carlos V. Rodrigues. O segundo estudo de caso foi o pavilhão da ONG IBIOSFERA, construção onde foi ministrado curso de Bio-Arquitetura pelos arquitetos Edoardo Aranha e Francisco Lima, este, servindo como complementação prática ao trabalho de pesquisa. O terceiro estudo de caso foi a visita ao restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica - PANACA. Um empreendimento ecológico, com projeto da arquiteta colombiana Maria Mercedes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O material bambu, e os processos significativos

Atualmente acredita-se que no mundo existam aproximadamente entre 1250 e 1300 espécies de bambu, sendo que delas, 400 são encontradas no Brasil. Os bambus são classificados em três grupos segundo as características de seus rizomas. Estes são os caules subterrâneos que crescem e se reproduzem fazendo a colonização do território. O grupo paquimorfo ou simpodial, é caracterizado por

rizomas curtos, grossos, maciços, e que apresentam as raízes secundárias na parte inferior. Estes rizomas curtos originam brotos próximos ao caule original, formando touceiras, portanto também chamados de entouceirante. O grupo leptomorfo ou monopodial é caracterizado por rizomas de forma cilíndrica ou quase cilíndrica, geralmente com diâmetro menor do que os caules que geram. Os entrenós são compridos e raramente maciços. Os rizomas se ramificam em longas distâncias, constituindo este grupo também classificado como alastrante. O grupo Anfipodial possui rizomas com ramificação dos dois tipos dependendo das condições de desenvolvimento. Como exemplos dos tipos de rizomas nos bambus mais utilizados na construção civil, podemos citar o *Dendrocalamus giganteus* (chamado de bambu-gigante, bambu-balde) que é paquimorfo ou entouceirante. Outro bambu, um dos mais utilizados e também dos mais resistentes é o *Guadua angustifolia* (aqui no Brasil conhecido como taquaruçu), que é leptomorfo ou alastrante. Como estrutura é bastante utilizado também no Brasil o bambu *Phyllostachys pubescens*, conhecido como bambu-mosó ou bambu-chinês. Este gênero (*Phyllostachys*) é o mais variado, possui um grande número de espécies, além de colmos dos mais variados tipos, tamanhos, cores e formas.

A qualidade dos colmos de bambu para sua utilização em estruturas é de grande importância e depende de muitos fatores. “Apesar do bambu possuir altos valores de resistência mecânica, principalmente à tração e compressão, há muitos aspectos que na prática são dificilmente resolvidos, devendo ser estudados, e normatizados, para possibilitar sua aplicação.” (CARDOSO, 2000).

A idade em que é o bambu colhido influencia relevantemente, pois a resistência do bambu só é atingida após o período de maturidade (ou sazonalidade), atingindo sua resistência máxima entre três e seis anos de idade. O teor de umidade no colmo a ser colhido também está diretamente relacionado com as propriedades físicas e mecânicas após a secagem. Com um teor de umidade alto, é maior a possibilidade do bambu apresentar fissuras ou rachaduras quando seco. Relacionado também ao teor de umidade está a presença de amido e açúcares no colmo. Portanto os colmos devem ser colhidos na época de menor pluviosidade,

quando os solos estão secos e a atividade de líquidos dentro do colmo é menor. Desta forma diminui-se a susceptibilidade à ataques de insetos que se alimentam de amido, principalmente o *Dinoderus minutus*, conhecido como broca ou caruncho do bambu. Muitas das culturas que utilizam o bambu preservam a tradição de colher o bambu principalmente na lua minguante, garantindo colmos menos vulneráveis. Este fato foi comprovado cientificamente por Pinzon(2002), que relacionou a presença de carboidratos em amostras de *Guadua Angustifolia*, com as fases da lua.

Os tratamentos físicos ou químicos são também fundamentais e procuram proteger os bambus através de três princípios: retirar, bloquear, ou transformar o amido dos colmos. As possibilidades de tratamento diferenciam-se basicamente pelo fatores de custo, sustentabilidade e eficiência. São alguns exemplos de tratamento: Cura na mata, Cura pela água, Secagem ao fogo, Secagem ao ar, Secagem em estufa, Tratamento por substituição da seiva/transpiração, Tratamento sob pressão, Tratamento por imersão, Tratamento por banho quente, Tratamento em autoclave. Segundo a bibliografia, o bambu pode ter uma vida útil de até quatro anos quando não tratados e de 20 a 50 anos quando submetidos a tratamentos adequados e utilizados corretamente. (NUNES,2005)

O presente também estudou algumas das técnicas mais utilizadas para as uniões estruturais de peças de bambu, este é também um dos assuntos mais relevantes na utilização do material.

“O bambu não resiste às pregações, devido sua constituição ser basicamente composta por fibras paralelas muito longas, com densidade específica muito alta, principalmente nas paredes externas, com grande tendência ao fendilhamento. As ligações mais indicadas, por proporcionar maior estabilidade, são as parafusadas, pois há um corte das fibras, sem o afastamento entre elas, evitando assim as fissuras” (CARDOSO, 2000).

As ligações parafusadas possuem a vantagem de permitir ajustes de acordo com a trabalhabilidade do material, já que o bambu apresenta muita variação dimensional em função da umidade relativa do ar, ou ainda, do término do

processo de secagem de peças utilizadas. Uma das técnicas utilizadas para evitar o cisalhamento são as ligações com a colocação de peças cilíndricas de madeira no interior dos colmos (figura 2), tendo como fator negativo a dificuldade de produção da peça em larga escala pela variação do diâmetro interno dos bambus.

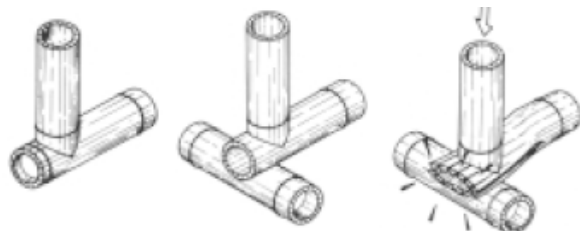


Figura nº 1: Sequência de esmagamento
Fonte: HIDALGO (1981)

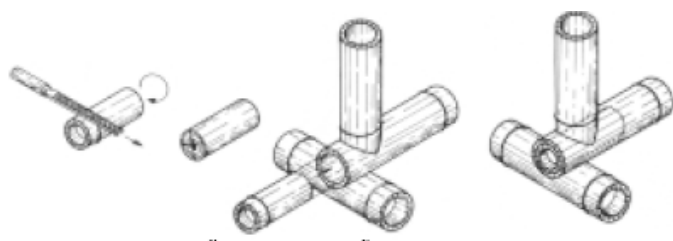


Figura nº 2: Enrijecimento de ligações.
Fonte: HIDALGO(1981)

Uma solução já consagrada foi criada por Simóm Vélez, o qual tem trabalhado com bambu por um longo período, desenvolvendo uma nova tecnologia para conectar os colmos de bambu em suas estruturas. A solução encontrada, conhecida como “Ligação Vélez” consiste na abertura de um orifício na parte superior do colmo de bambu parafusado onde, após o travamento da estrutura, ocorre a injeção de concreto. Esta solução visa evitar o cisalhamento, patologia que pode ser causada na utilização dos parafusos para união e fixação das peças estruturais. Com o simples aumento da superfície de contato do parafuso e da parede de bambu, evitam-se as fissuras e o esmagamento, talvez as características mais desfavoráveis na utilização do bambu na estrutura.

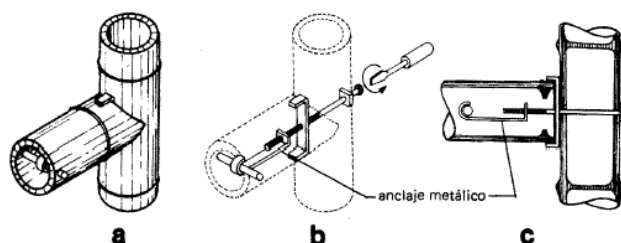


Figura nº 3: Esquema da ligação com parafusos. Fonte: HIDALGO (1981)

4.2. Ensaio de Resistência

Para que pudéssemos obter resultados que demonstrassem as principais características mecânicas do material, foram feitos ensaios de resistência à tração, à compressão e ao cisalhamento, realizados nos laboratórios da faculdade de engenharia civil e de engenharia de materiais do Mackenzie-SP. Estes realizados com base nos trabalhos realizados pelo professor Khosrow Ghavami na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

O objetivo destes testes estruturais não é o de fazer um estudo aprofundado de levantamento das características mecânicas do material (como vem sendo feito pioneiramente por estudiosos no assunto, levantados na bibliografia deste trabalho), mas sim atentar para os resultados obtidos como comprovadores das possibilidades estruturais de um material que não é tradicionalmente utilizado em nosso país.

4.1.1. Considerações quanto aos corpos de prova e processos utilizados

Os corpos de prova submetidos aos ensaios foram retirados de bambus da espécie *Phyllostachys pubescens*, mais conhecidos como “bambu mosó”. (leia-se bambu mossô). Os colmos utilizados foram comprados de um distribuidor de materiais naturais localizado na Zona Leste de São Paulo, o qual revende bambus de diversas localidades (da região sudeste do país), mas não sabendo informar a sua procedência. (região, data do corte e secagem)

Para que os ensaios realizados assemelhassem ao máximo as condições em que os bambus são utilizados nas construções, foram divididos conforme os tipos de esforços solicitantes sobre o material, e conforme o processo de secagem do mesmo, que comprovadamente alteram os resultados em sua resistência. Não foram feitos ensaios comparando-se os tipos de tratamento levantados contra insetos xilófagos, pois como consultado na bibliografia específica, estes não influenciam relevantemente nos resultados obtidos.

O teor de umidade do bambu é expresso através de porcentagem, comparando-se seu peso ao natural e quando seco; assim uma peça de bambu tem teor de

umidade 10% quando a peça depois de seca perdeu 10% de seu peso. (OLIVEIRA, 1980)

Os processos de secagem dos corpos de prova embora demonstrem claramente diferenças nos resultados (como verificaremos a seguir), não foram de fato precisos pela impossibilidade de estimarmos os teores relativos de umidade, ou seja, os bambus poderiam ter adquirido ou perdido umidade durante seu transporte e período de estocagem. A secagem foi realizada em forno “Fanem” modelo “315 SE” no Laboratório de Engenharia de Materiais do Mackenzie-SP. O tempo em que os corpos de prova ficaram na estufa foi determinado pela diferença de massa da amostra durante as sucessivas pesagens. Para este controle, foi realizada a pesagem dos corpos de prova a cada um ou dois dias na balança analítica de precisão. (sartorius ISO 9001)

4.1.2. Ensaios de Compressão



Figura nº 4: Fábio, Luiz e Abner no laboratório de Estruturas - Faculdade de Engenharia Civil – Mackenzie, São Paulo. Fonte: Marquez, 2007

Figura nº 5: Teste em corpo de prova à compressão. Fonte: Marquez, 2007

Nos testes à compressão foram ensaiados um total de 16 corpos de prova, sendo estes divididos em grupos de três a três, e em lotes de acordo com a secagem:

Um primeiro lote com 6 corpos de prova (três com nó e três sem nó) verdes (sem passagem pela estufa). Um segundo lote com 6 corpos de prova secos na estufa à

50°C por uma semana. Os corpos de prova foram feitos de acordo com a literatura levantada, com a altura proporcional ao diâmetro. ($h=d$)

Corpo de Prova	Diam. Ext	Espessura	Área	Carga Máx.	Tensão	Tensão
Unidades	cm	cm	cm ²	Kgf	Kgf/cm ²	Mpa
Sem Nó 01 - seco 50	7,94	1,80	19,846	21.200,00	1.068,25	106,82
Sem Nó 02 - seco 50	7,87	1,75	19,239	20.250,00	1.052,52	105,25
Sem Nó 03 - seco 50	7,92	1,76	19,488	20.200,00	1.036,55	103,66
Sem Nó 04 - verde	8,06	1,69	19,153	14.300,00	746,61	74,66
Sem Nó 05 - verde	8,16	1,92	21,700	15.200,00	700,47	70,05
Sem Nó 06 - verde	8,00	1,67	18,795	14.100,00	750,18	75,02
Com Nó 01 - seco 50	8,88	2,17	26,518	21.300,00	803,24	80,32
Com Nó 02 - seco 50	8,40	1,93	22,505	20.650,00	917,58	91,76
Com Nó 03 - seco 50	8,40	1,88	21,991	20.650,00	939,04	93,90
Com Nó 04 - verde	8,24	1,84	21,092	14.600,00	692,20	69,22
Com Nó 05 - verde	8,78	1,97	24,121	15.900,00	659,17	65,92
Com Nó 06 - verde	8,44	1,91	22,390	15.600,00	696,73	69,67

Figura nº 6: Tabela de dados e resultados dos primeiros ensaios de compressão.

Apenas após a realização destes primeiros testes foi constatada a necessidade de se obter dados que descrevessem o comportamento dos corpos de prova durante os ensaios. O equipamento utilizado não nos fornecia um gráfico preciso, e somente na volta ao laboratório foram realizados ensaios utilizando relógio comparador, o que possibilitou fazer leituras de deformação, feitas a cada tonelada de carga acrescida. O gráfico resultante destes últimos quatro ensaios realizados está apresentado na figura 8.

Corpo de Prova	Diam. Ext	Esp.	Área	Carga Máx.	Tensão	Tensão	L0	ΔL	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L0}$
Unidades	cm	cm	cm ²	Kgf	Kgf/cm ²	Mpa	mm	mm	
Sem nó - seco	8,34	0,88	10,913	21.300,00	1.951,75	195,18	85,10	3,21	0,0377
Sem nó - verde	7,99	0,76	9,037	12.500,00	1.383,20	138,32	98,90	2,99	0,0302
Com nó - seco	8,30	0,81	9,996	16.300,00	1.630,72	163,07	96,53	2,99	0,0309
Com nó - verde	8,12	0,82	9,885	13.700,00	1.385,94	138,59	98,96	1,93	0,0195

Figura nº 7: Tabela de dados e resultados dos últimos ensaios de compressão.

Como conclusão dos testes realizados, na análise dos resultados, e na comparação com os trabalhos da PUC – Rio (CRUZ, 2002), observou-se a dificuldade de se determinar valores médios de resistência para uma dada espécie de bambu. Grandes variações ocorrem entre as amostras com nó e sem nó, entre

corpos de prova retirados da base, do intermédio, e do topo do colmo. Os processos de secagem influenciam bastante, e as variações de espessura alteram bastante a resistência às cargas entre as partes ao longo do colmo. Os dados apresentados no gráfico revelam uma resistência maior nos corpos de prova sem nó, além disso, os resultados apresentam uma resistência muito maior do que aquelas obtidas nos ensaios anteriores e na literatura. Estes dados indicam a possibilidade dos corpos de prova terem sido retirados de uma parte superior do colmo, como os resultados obtidos na por Martha Cruz (2002).

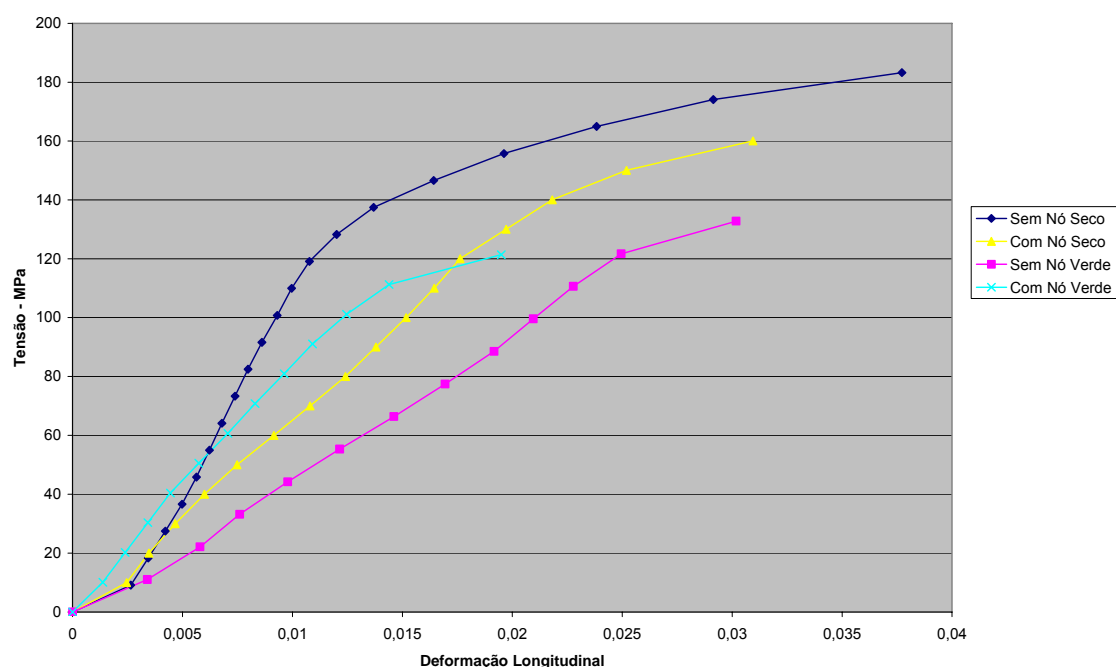


Figura nº 8: Gráfico dos resultados dos ensaios à compressão. Fonte: Marquez, 2007

4.1.3. Ensaios de Tração

Nos testes à tração foi ensaiado um total de 12 corpos de prova, sendo estes: Um lote com 6 corpos de prova (três com nó e três sem nó) secos (sem passagem pela estufa). E outro lote com 6 corpos de prova, secos na estufa a 50°C por uma semana (tempo em que se considerou estabilizada a massa do corpo de prova). Os testes à tração foram ensaiados na máquina Q-Test, no laboratório de Engenharia de Materiais (Figura nº 12). O desenho dos corpos de prova seguiu o trabalho orientado por Ghavami (CRUZ, 2002).

Corpos de prova	Espessura	Largura	Area	Módulo	Tens. Escoam.	Carga Máx.	Tensão Max.	Deform. Final
Unidades	mm	mm	mm ²	Mpa	Mpa	Kgf	Mpa	%
Com Nó 1 Seco	8.20	5.31	43.54	1906.21	188.413	896.960	202.02	11.39
Com Nó 2 Seco	9.02	5.05	45.55	2058.30	181.501	909.434	195.79	10.32
Com Nó 3 Seco	8.90	5.05	44.94	2131.97	190.160	949.925	207.27	10.42
Com Nó 4 Verde	7.85	4.75	37.29	2028.87	193.758	786.654	206.89	10.66
Com Nó 5 Verde	9.35	4.82	45.07	1553.08	140.674	931.256	202.64	18.44
Com Nó 6 Verde	8.20	5.05	41.41	1803.92	169.210	794.314	188.11	12.28
Sem Nó 1 Seco	7.55	4.88	36.84	2484.95	210.621	937.097	249.42	10.24
Sem Nó 2 Seco	7.73	5.46	42.21	2245.44	213.508	1.067.299	247.99	12.34
Sem Nó 3 Seco	7.68	4.52	34.71	2312.12	223.182	895.171	252.89	10.98
Sem Nó 4 Verde	7.50	4.90	36.75	2188.31	203.818	877.381	234.13	12.97
Sem Nó 5 Verde	8.05	4.75	38.24	2074.82	188.553	995.235	255.24	16.87
Sem Nó 6 Verde	8.27	5.47	45.24	1625.24	161.527	1.000.270	216.84	50.54

Figura nº 9: Tabela de dados e resultados dos ensaios de tração.

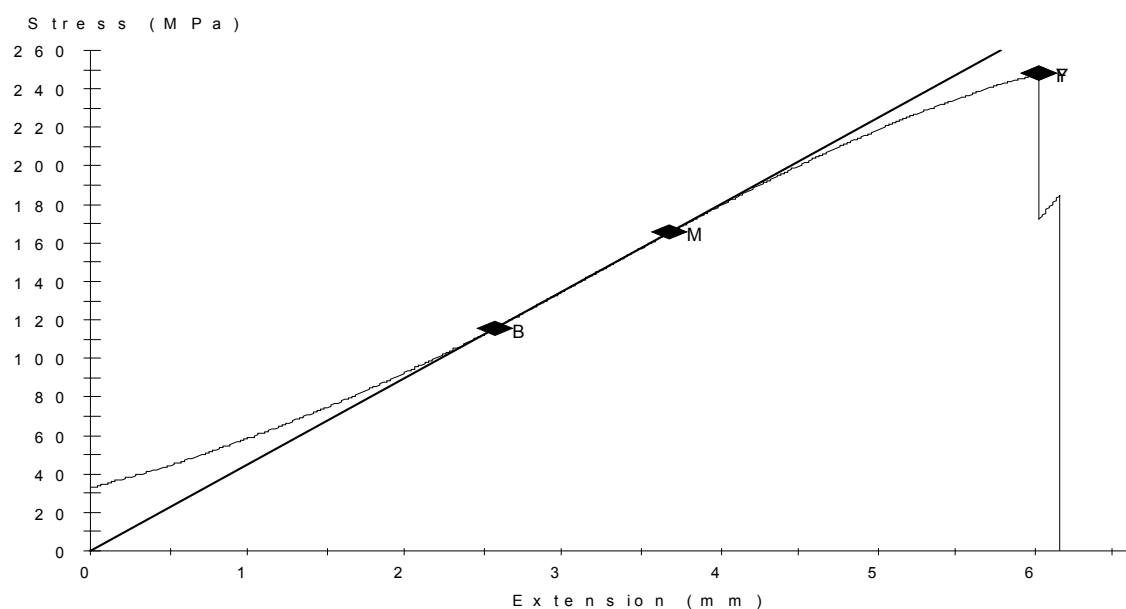


Figura nº 10: Exemplo de gráfico Tensão x Deformação de ensaio de tração (sem nó 2- seco).



Figura nº 11: Corpos de prova rompidos no ensaio de tração. Fonte: Marquez, 2007

Figura nº 12: Máquina de ensaios Q-test com corpo de prova de tração. Fonte: Marquez, 2007

Os resultados dos ensaios de tração (tabela da figura 8) demonstram que os corpos de prova sem nó apresentam uma maior resistência do que aqueles com nó. Estes dados são compatíveis com a literatura, e justificados pela descontinuidade das fibras na região dos nós. Os ensaios apresentam uma tensão de ruptura média de 249 MPa. Resistência esta compatível à resistência de escoamento do aço – ASTM36. Entretanto, a ruptura do bambu é uma ruptura frágil, demonstrada pelo gráfico da tensão pela deformação (figura10), enquanto o aço apresenta uma ruptura dúctil.

4.1.4. Ensaio de Cisalhamento

Os testes de cisalhamento realizados tiveram o objetivo de caracterizar o cisalhamento interlaminar (no sentido paralelo às fibras), que constitui a pior característica do material nas formas atuais de construção. No cisalhamento foi ensaiado um total de 12 corpos de prova, sendo estes: Um lote com 6 corpos de prova (três com nó e três sem nó) secos (sem passagem pela estufa). Um lote com 6 corpos de prova secos na estufa à 50°C por uma semana. (tempo em que se considerou estabilizada a massa do corpo de prova) No cisalhamento o bambu apresentou seu ponto mais frágil, com uma tensão de ruptura média dos corpos de prova secos em 7,02 Mpa.

Corpos de prova	Espessura	Largura	Área	Módulo	Tens. Escoam.	Carga Máx.	Tensão Max.	Deform. Final
Unidades	mm	mm	mm ²	Mpa	Mpa	Kgf	Mpa	%
Com Nó 1 Seco	10.60	59.37	629.32	108.84	5.753	387.038	6.03	5.93
Com Nó 2 Seco	10.00	59.64	596.40	115.04	5.441	342.657	5.63	5.12
Com Nó 3 Seco	11.60	59.25	687.30	99.37	5.920	415.126	5.92	6.35
Com Nó 4 Verde	11.00	59.22	651.42	105.72	5.643	382.337	5.76	5.59
Com Nó 5 Verde	11.45	59.23	678.18	102.87	6.061	421.741	6.10	6.78
Com Nó 6 Verde	11.60	59.00	684.40	93.58	5.728	409.023	5.86	6.95
Sem Nó 1 Seco	8.02	58.70	470.77	136.02	6.299	2.999.030	6.37	4.87
Sem Nó 2 Seco	7.46	58.65	437.53	150.84	6.438	3.390.961	7.75	6.23
Sem Nó 3 Seco	8.21	58.80	482.75	150.82	6.529	3.359.957	6.96	4.67
Sem Nó 4 Verde	7.87	59.15	465.51	134.79	6.577	3.146.728	6.76	5.23
Sem Nó 5 Verde	8.26	58.91	486.60	139.19	7.530	3.728.881	7.66	7.95
Sem Nó 6 Verde	7.71	59.20	456.43	142.94	5.956	2.824.905	6.19	4.65

Figura nº 13: Tabela de dados e resultados dos ensaios de cisalhamento.

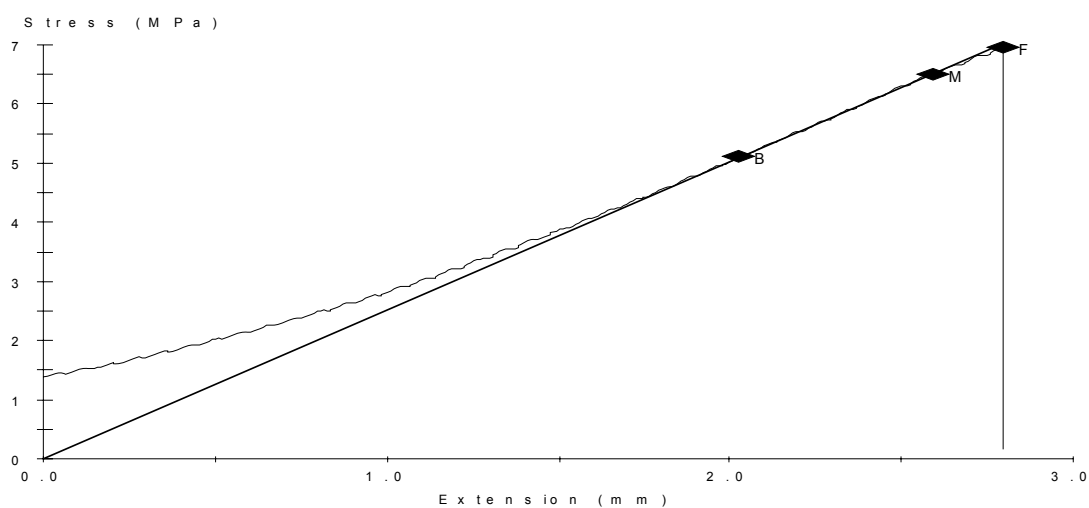


Figura nº 14: Gráfico Tensão x Deformação de ensaio de cisalhamento (sem nó 3- seco).

4.2. ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso são análises de obras realizadas que visam mostrar o que se tem feito, principalmente no Brasil com estruturas de bambu.

4.2.1. Obras do Hotel do Frade & Golf Resort

As obras do Hotel do Frade em Angra dos Reis, construídas com bambu, surgiram à partir de uma integração entre a equipe do arquiteto colombiano Simóm Vélez e a empresa Bambu-Jungle, conveniada ao hotel. Ela consiste de uma fazenda especializada em culturas e comercialização de palmito, grama e bambu, servindo ao hotel e também a projetos externos. Na execução destas construções, a equipe do arquiteto colombiano precisou formar a mão de obra que seria utilizada, ensinando assim os empregados a utilizarem as técnicas para o trabalho com o novo material. Esta mão de obra seria utilizada posteriormente pela Bambu-Jungle. A visita, guiada pelo engenheiro agrônomo Carlos V. Rodrigues, foi realizada primeiramente nas duas principais construções em bambu do hotel, que são o restaurante e a recepção, e posteriormente uma casa projetada por Vélez localizada no Condomínio do frade, além dos “quiosques” do hotel feitos pela Bambu-Jungle.

4.2.1.1. Recepção do Hotel do Frade & Golf Resort



Figura nº 15: Recepção do Hotel do frade. Fonte: Marquez, 2007

O projeto de Vélez para a recepção se constitui de um polígono de oito lados, com uma estrutura dividida em duas linhas circulares e concêntricas contendo os pilares que apóiam a cobertura. Esta cobertura é uma estrutura espacial, que também poderia ser chamada de cúpula de linhas retas. As peças estruturais são dispostas de forma circular e radial, sendo que no encontro delas há o anel de rigidez como travamento. A concepção arquitetônica da cobertura é uma das características da arquitetura de Simóm Vélez.

Entre a sobreposição dos telhados existe um espaçamento vertical que constitui o sistema de ventilação natural do edifício. O bambu utilizado para a construção foi o *Dendrocalamus giganteus*, ou bambu gigante, fornecido pela fazenda do hotel e tratado quimicamente em autoclave.

Os pilares externos são inclinados de forma que suportam um grande beiral. Assim, tanto o pavilhão aberto quanto à estrutura ficam protegidos da chuva. Já os pilares internos possuem uma inclinação seguindo a direção das cargas atuantes advindas da cobertura.



Figuras nº 16 e 17: Recepção do Hotel do frade. Fonte: Marquez, 2007.

Os elementos que suportam a parte inferior do telhado são dispostos como ramos, levando de toda a área da cobertura as cargas para a disposição dos pilares. No anel central da estrutura o arquiteto utiliza as vigas como feixes estruturais, os quais são compostos por vários colmos que são travados por parafusos. Os colmos parafusados são preenchidos com concreto nos entrenós das ligações,

solução já reconhecida na literatura, como ligações “Tipo Vélez”. Nesta construção também são utilizadas barras de aço internamente nos colmos de bambu, fazendo a ligação de peças, e principalmente a ligação dos pilares à fundação. Esta tecnologia que foi proposta por Vélez, até então inovadora, o colocou na vanguarda da produção da arquitetura em bambu ao permitir a realização de construções impressionantes, com grandes vãos, grandes balanços, e maiores cargas na estrutura, na execução de construções com dois ou mais pavimentos.

4.2.1.2. Restaurante do Hotel do Frade & Golf Resort

O sistema que compõe toda esta construção projetada por Vélez é semelhante ao sistema utilizado na recepção do hotel, porém com diferenças no aspecto geral e no desenho dos feixes de peças estruturais. O restaurante se constitui de um pavilhão retangular, com uma estrutura dividida também, assim como a recepção, em duas linhas principais de apoio contendo os pilares que suportam a cobertura. Os pilares periféricos são constituídos de dois colmos de bambu cada, separados por um outro segmento de colmo entre eles. Os pilares internos são compostos de quatro varas, sendo que uma delas se destina ao apoio da parte inferior da cobertura (junto com os pilares periféricos), e as outras três formam um desenho triangulado que apoia a parte superior da cobertura, um telhado mais elevado e que possui um grande beiral em balanço.



Figuras nº 18 e 19: Restaurante do Hotel do frade. Fonte: Marquez, 2007

4.2.1.3. Casa no condomínio do Frade

Esta casa no condomínio do Frade foi o primeiro dos projetos de Vélez em Angra dos Reis. A estrutura da casa é organizada basicamente em três pórticos grandes, que vencem o vão das salas, três pórticos menores, que contém a cozinha e área de serviço, e dois anexos laterais, um deles maior contendo quartos. O bambu utilizado é o *Dendrocalamus giganteus*, e as ligações utilizam concreto injetado. (Ligação Vélez). Embora não tenha sido possível aprofundar o estudo de construção, por não se encontrarem os proprietários da casa na data da visita, trata-se de uma residência com um aspecto singular, elevando o atual padrão de construções com bambu.



Figuras nº 20 e 21: Casa no condomínio do frade. Fonte: Marquez, 2007

4.2.2. Pavilhão Sede da ONG sócio-ambiental IBIOSFERA

A construção do pavilhão da IBIOSFERA foi (e tem sido) parte prática de cursos de “bio-arquitetura” promovidos pela citada ong e ministrados pelos arquitetos Edoardo Aranha e Francisco Lima. Toda a construção segue ao máximo os preceitos de construção ecológica, no uso dos materiais de construção, na implantação do edifício no terreno, e no uso dos recursos, principalmente água e tratamento dos efluentes. O projeto, conforme os arquitetos, foi inspirado nas construções colombianas. O Pavilhão em formato octogonal possui 120 m² de área interna e 130m² de área coberta.



Figuras nº 22 e 23: Sede da Ong IBIOSFERA. Fonte: Marquez, 2007

A estrutura é feita com bambu *Phyllostachys Pubescens*, ou bambu mosó, adquirido já tratado e com origem no Rio de Janeiro. Possui oito pilares. Cada um dos pilares é composto por quatro colmos de bambu, com travamentos entre eles em três momentos. O espaçamento entre os colmos do pilar traz a ele uma maior inércia e permite que se faça a ligação com os outros elementos estruturais num sistema de sanduíche. Cada pilar possui duas mãos francesas; uma estruturando a viga de cobertura, e outra suportando o beiral. (que nada mais é do que uma continuação desta última) Este desenho, traz equilíbrio à peça e virá a proteger a estrutura da chuva. A fundação é feita em concreto armado e termina elevada do solo entre meio à um metro. Esta medida também protege os bambus da umidade, além de servir de base de apoio para os colmos quando realizada a concretagem soldando os pilares à fundação. Os pilares possuem em seus primeiros noventa centímetros de altura barras de aço internamente, que são preenchidos com concreto flúido através de buracos feitos com serra-copo. Ao contrário das construções de Simóm Vélez, apenas a base dos pilares é concretada, de acordo com os arquitetos, pela pequena carga que a estrutura irá suportar. A partir desta decisão torna-se necessário um maior cuidado com as uniões das peças estruturais com parafusos, devido à tendência ao cisalhamento das fibras do bambu. Os parafusos foram utilizados com a preocupação de serem colocados sempre o mais próximo possível de um dos nós do colmo de bambu. Foram utilizados também anéis de borracha para aumentar o ponto de contato entre a

arruela e a superfície do bambu, diminuindo as tensões em torno dos parafusos nas uniões estruturais.



Figura nº 24: Encontro dos pilares com a fundação na Sede da IBIOSFERA. Fonte: Marquez, 2007

Figura nº 25: Detalhe do pórtico na Sede da IBIOSFERA. Fonte: Marquez, 2007

O pavilhão se comporta como um sistema fechado, onde quatro dos pilares, juntamente com suas vigas de cobertura e suas estruturas para os beirais, formam o desenho de pórticos, sendo que os outros elementos servem de travamento, ou seja, formando o desenho de pórticos interrompidos. Essa diferença entre as quatro vigas de cobertura contínuas e as quatro vigas interrompidas constitui o espaço das aberturas laterais da cobertura, que servem para iluminação e ventilação natural do pavilhão.

4.2.3. Restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica - PANACA

A Construção do restaurante do Parque Temático Agropecuário em San Mateo, Costa Rica, foi uma das primeiras obras do empreendimento em fase de implantação. Realizada, a obra chama a atenção de quem passa pela estrada vinda da capital (San José) em direção ao litoral pacífico daquele país. Todo construído com materiais naturais, o restaurante tem um apelo ecológico aliado a um sistema construtivo diferenciado.



Figuras nº 26 e 27: Aspecto geral e vista interna do restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica - PANACA. Fonte: Marquez, 2007

O espaço foi projetado por Maria Mercedes, arquiteta do empreendimento, que também como Simóm Vélez, é colombiana. A estrutura do restaurante se constitui de 14 pilares distribuídos na periferia de um espaço retangular, que possui uma modulação de 6 por 3 pilares. A cobertura de fibras naturais é apoiada em elementos estruturais de bambu. Os pilares são mistos: da fundação de concreto até a altura dos beirais são constituídos de troncos de madeira, na altura da estrutura de apoio dos beirais, é feita a transição; surgem quatro colmos de bambu a partir de ranhuras nas toras.



Figuras nº 28 e 29 e 30: Vista interna da cobertura, detalhes do encontro entre peças estruturais.

Restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica - PANACA. Fonte: Marquez, 2007

As mãos francesas dos beirais se apóiam em ilhós, e estes são presos aos pilares de troncos por barras de aço. Assim como nas obras visitadas projetadas por Simóm Vélez, nesta todas as varas de bambu da estrutura são concretadas internamente. O bambu utilizado tem as mesmas dimensões e coloração do mossô (*Phyllostachys pubescens*), porém um dos construtores presentes, que explicou sobre o empreendimento, não soube confirmar a espécie utilizada. A estrutura da cobertura aqui tem uma diferença das obras visitadas de Simóm Vélez por utilizar feixes de colmos de bambu dispostos como vigas, as quais contém três varas sobrepostas cada uma. Estas vigas inclinadas possuem triangulações como reforço. Não chegam a ter o desenho de uma treliça, mas vencem o vão do restaurante com um aspecto bem interessante.

5. CONCLUSÃO

Como conclusão deste trabalho, fica clara a intenção de explicitar as possibilidades arquitetônicas e estruturais do material. As obras construídas com bambu possuem uma linguagem própria deste sistema, com aspecto de extrema beleza e leveza.

A pesquisa demonstra a grande capacidade de resistência do bambu e o seu potencial para construção. A resistência do Bambu mosó (*Phyllostachys Pubescens*) demonstrou ser à tração equivalente à resistência do aço, apresentando valor de 249 MPa. Na compressão, a resistência de proporcionalidade média foi de 100 MPa. No cisalhamento o bambu apresenta seu ponto crítico como material pois sua resistência chega a ser de 7 MPa . Os ensaios apresentados demonstram a influência do teor de umidade na resistência do bambu. Entretanto, podemos afirmar que parte dos bambus ensaiados estavam praticamente secos ao ar, pelo fato de terem sido testados após um longo período depois de adquiridos. Também podemos apontar para a necessidade de se determinar a posição do corpo de prova em relação ao colmo de onde foi retirado, além da certificação da origem e procedência do bambu utilizado.

As obras visitadas demonstram sua viabilidade de uso devido a fatores como flexibilidade e sua adaptação as diversas formas. Nos projetos em geral os arquitetos optaram por trabalhar com as barras em feixes, fato este que diminui o número de execução de nós e encaixes, conseqüentemente diminui a possibilidade de ruptura por cisalhamento. A solução encontrada por Simóm Vélez para evitar o cisalhamento foi injetar concreto no nó, entretanto solução considerada por muitos arquitetos anti-ecológica, preferindo buscar soluções alternativas como por exemplo a encontrada pelos arquitetos Edoardo Aranha e Francisco Lima, que possuem a preocupação de utilizar parafuso sempre o mais próximo possível de um nó do bambu. Mesmo assim ainda utilizam também anéis de borracha para aumentar o ponto de contato entre a arruela e a superfície do bambu, o que diminui as tensões em torno dos parafusos nas uniões estruturais.

A partir destas conclusões entende-se a relevância das pesquisas com bambu continuarem a ser realizadas na universidade, com a correção dos eventuais defeitos nos testes, além da inclusão de novas espécies e aprofundamento das questões do bambu e da arquitetura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, Júnior. Rubens. **Arquitetura com bambu**. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Convênio UNIDERP (Universidade para o desenvolvimento do estado e da região do Pantanal) – UFGRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 2000.

CRUZ, Martha Lissette Sánchez. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à flambagem**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

DUNKELBERG, Klaus. **Bamboo as a building material**, in: IL31 Bambus, Karl Krämer Verlag Stuttgart, 1992.

GLENN, H. E. **Bamboo reinforcement of portland cement concrete structures.** Clemson College Engineering Experiment Station. Bul. 4. Clemson, S.C, 1950

LOPEZ, Oscar Hidalgo. **Manual de Construcción com Bambu.** Cali, Colômbia: Estudios Tecnicos Colombianos, 1981. Universidad Nacional de Colombia y Centro de Investigación de Bambu y Madera CIBAM.

MORADO, Denise. **Material de Fibra** Revista técnica, São Paulo, n.9, p.32-36, mar/abr. 1994.

NUNES, Antônio Ricardo sampaio. **Construindo com a natureza. Bambu:uma alternativa de ecodesenvolvimento.** 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005.

OLIVEIRA, Edith Gonçalves de. **Bambu, Investigação de novos usos na construção Civil.** 1980. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

PINZÓN, T.M. **Ensayo preliminar de contenido de azúcar en la guadua.** Pereira, Colômbia: FMA, 2002. 12p.

RECHT, C. WETTERWALD, M. F. **Bamboos.** London: B.T. Batsford Ltd, 1994.

VIDAL, Diogo Forghieri. **Bambu: Alternativa Construtiva para o Projeto Ecológico.** 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2003.