



COMPLEXUS

• ENGENHARIA • ARQUITETURA • DESIGN

**Ano
01**

Lourdes Abbade RIVERO
Pedro Sérgio MORETON
Carlos Eduardo GOMES

**n.
01**

ESTRUTURA EM BAMBU PARA ÁREA DE USO PÚBLICO

**p.
81-98**

Instituto de Engenharia Arquitetura e Design –
INSEAD

Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio
CEUNSP – Salto-SP

ESTRUTURA EM BAMBU PARA ÁREA DE USO PÚBLICO

RIVERO, Lourdes Abbade - Arqt^o. Mestre em materiais alternativos – UNICAMP – Campinas – SP-
Professora do Centro Universitário Nossa Senhora do patrocínio - CEUNSP- Salto-SP
e-mail: abbaderivero@yahoo.com.br

MORETON, PEDRO SÉRGIO (IN MEMORIAN) - CONSTRUTOR EM BAMBU – CAMPINAS - SP

GOMES, Carlos Eduardo - Eng^oProf.Dr. em Estruturas - Barretos – SP,
e-mail: cegprojetos@ibt.org.br

RESUMO: A utilização do bambu no meio construtivo no Brasil é muito recente. As pesquisas realizadas com esse material estão avançando, mas ainda inexistem ferramentas e normas adequadas para sua utilização. Este trabalho mostra a execução do primeiro estrutural em bambu construído em Shopping Center no país, para uma loja de produtos Asiáticos. O material utilizado para a confecção do mezanino foi o *Phyllostachys edulis*, conhecido popularmente como bambu mossô. Os resultados obtidos em ensaios de caracterização físico-mecânica denotaram a viabilidade da utilização do bambu *Phyllostachys edulis*, como elemento estrutural, comprovando as antigas técnicas Asiáticas do uso deste material em construções.

Palavras-chave: Bambu, estrutura, material não convencional

INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, vem incentivando novas pesquisas com materiais alternativos, visando a preservação da natureza e à melhoria da qualidade de vida do homem. As boas características físicas do bambu, bem como sua forma geométrica peculiar, seu baixo custo e facilidade para a sua obtenção, o tornam largamente utilizado como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia.

A China desde a Antigüidade é reconhecida pela tradição na utilização do bambu, chegando, nesse país, a ser estimado em cerca de 4000 diferentes usos para esse material, abrangendo desde um simples utensílio até uma complexa construção de residência ou templo (HSIUNG, 1988).

De acordo com HIDALGO LOPEZ (1978) a Índia foi um dos primeiros países a aproveitar a elasticidade do bambu, construindo modelos arquitetônicos com arcos e abóbadas de diferentes formas. Um dos grandes exemplos é a construção da cúpula de um dos grandes monumentos da Índia o Taj Mahal, conforme observa-se na figura 01, a estrutura da cúpula em bambu.

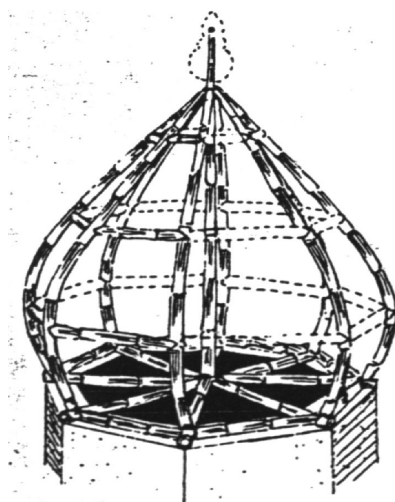


Figura 1 – Estrutura da Cúpula do Taj Mahal (Índia)

Fonte: HIDALGO LOPEZ (1978)

Na Costa Rica e Colômbia destaca-se a espécie *Guadua*, sendo muito utilizada no meio construtivo desde pontes tirantadas, habitação popular a arquitetura mais arrojada.

No Brasil não existem muitas espécies de bambu adequadas para o uso estrutural, podendo-se destacar a espécie *Denrocalamus giganteus*, porém rica em amido ponto de fragilidade para ataque de fungos como o *Dinoderus minutus*, podendo ser tratada com produtos químicos conforme AZZINI e BERALDO (2001). Além de espécies adequadas para o uso estrutural, outro fator que dificulta a utilização do bambu na arquitetura como elemento estrutural é a inexistência de

normas para materiais não convencionais, principalmente em lugares públicos, onde tem-se que trabalhar com um índice maior de segurança em função da proteção contra incêndio, afim de poder gerar seguro aos estabelecimentos.

2. OBJETIVO

Este trabalho relata a execução de uma estrutura em bambu construída em área pública, abrigando o mezanino de uma loja de produtos Asiáticos.

3. BAMBU

3.1. Características do bambu

É um material ecológico e, de fácil propagação, podendo ser produzido em larga escala mesmo em área reduzida, suporta elevadas solicitações quando tracionado, resiste muito bem a cargas dinâmicas; possui colmos assexuado anos após ano, onde segundo UEDA(1968) as espécies *Phyllostchys*, duram de 60 a 100 anos.

Para uma melhor maximização da utilização do bambu, torna-se necessário um conhecimento adequado de suas propriedades físicas e mecânicas. Estudos demonstraram que essas propriedades muitas vezes dependem da espécie, das condições climáticas, silvicultura, estação de colheita, idade de corte, teor de umidade, posição da amostra com relação à altura do colmo, presença ou ausência de nós nos corpos-de-prova, e condição fitossanitária (LEE et al., 1994).

A idade do corte é um fator importante e depende do uso previsto e da espécie que irá se utilizar. Para elementos estruturais, deve-se utilizar somente colmos maduros e completamente lignificados.

O bambu, no entanto, apresenta várias limitações para seu emprego em construções devido à sua geometria particular, pois os colmos se assemelham a longos troncos de cone, de pequena espessura (variável ao longo da altura do colmo) e com muitos nós, os quais representa pontos de menor resistência.

Conforme AZZINI e BERALDO (2001), as espécies de bambu nativas do Brasil são conhecidas geralmente como: taquara, taboca, jativoca, taquaruçú ou taboca-açú, conforme a região de ocorrência. As espécies de bambu mais difundidas no Brasil são: *Bambusa tuldoides*, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus*, e algumas espécies pertencentes ao gênero *Phyllostachys* (AZZINI et al., 1978). BERALDO (1987) afirmou, em estudos realizados sobre as características físico-mecânicas de algumas espécies de bambu, que o principal obstáculo a ser vencido refere-se à inexistência de normas para ensaio. Em trabalhos realizados, o mesmo autor, baseando-se em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para madeira, concluiu que as diferenças anatômicas entre tais materiais são muito distintas, não sendo possível obter determinadas proporções entre os elementos constituintes do bambu, fazendo-se necessário a criação de normas específicas para este material.

BERALDO e AZZINI (2004) afirmam a grande possibilidade de uso do bambu como material de construção, apesar de possuir massa específica reduzida, apresenta grande resistência mecânica, sobretudo em tração. Sendo que o bambu consome pouca energia para sua produção, o que não ocorre com os outros materiais. A tabela 01, comparando as propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto, comprovam esta afirmação.

Tabela 01 - Propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto.

Caractéristica	Bambu	Pinus	Concreto
Massa específica (kg/m ²)	580-700	530	2400
Tração axial(kgf/cm ²)	2400	1000	20
Compressão axial (kgf/cm ²)	1200	1200	240
Energia de produção (Mj/m ²)	30	80	240

Fonte: BERALDO E AZZINI 2004

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Espécies utilizadas

A espécie *Phyllostacys edulis* (bambu mossô), foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho, em função de suas propriedades físicas e mecânicas, estética e melhor aproveitamento do colmo uniformidade (diâmetro variando de 10 a 11,5 cm). Colmos de bambu, com 6 anos de idade, com aproximadamente 20 metros de comprimento foram retirados da propriedade do Sr. Takasi Myazaky.

4.2. Processo de preparo para o tratamento

Os colmos foram cortados em 4 metros e tratados por técnicas japonesas, sistema de auto-clave, ou seja os colmos ficaram a uma temperatura de 100°C, depois defumado e colocados para secagem natural por um período de 2 meses.

4.3. Ensaios aplicados ao bambu

4.3.1. Ensaio de compressão.

Foram cortados 6 corpos-de-prova medindo 75 cm de comprimento, da região internodal, ou seja com o nó ao meio. Para a realização deste ensaio, foi utilizada uma prensa universal EMIC, do Laboratório de Ensaios de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) de 30 toneladas.

A resistência do bambu é proporcional à quantidade de fibras do mesmo. A maior concentração destas se dá próximo à casca (até 70%) e diminui à medida que se caminha em direção ao centro.

4.3.2. Ensaio de flexão simples

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), utilizando uma prensa DINATEST, com uma célula de carga de 40 toneladas. Os colmos de bambu foram cortados com 1,50 metro de comprimento, sendo utilizados seis (6) corpos de prova. A figura 2 mostra o corpo de prova no momento do ensaio.

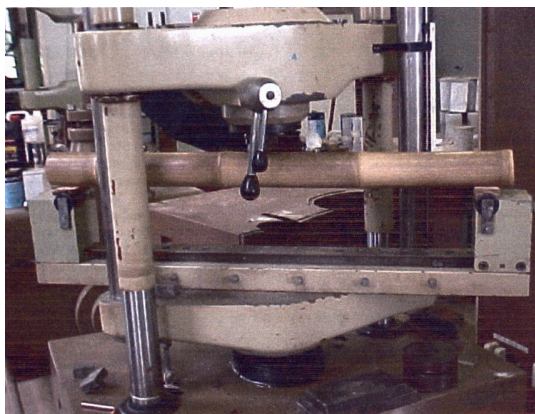


Figura 2 – Corpo de prova no momento do ensaio.

4.3.3. Estrutura do mezanino

4.3.3.1. O projeto

O mezanino foi projetado seguindo as normas do Shopping, onde não é permitida fixação nas paredes divisórias do local. Desta forma a estrutura encontra-se recuada das paredes divisórias 0,05 cm, foram dimensionados (25) vinte e cinco pilares de bambu, com diâmetro médio de 10 cm complementados por vigas principais e secundárias. As vigas secundárias recebem um reforço de amarração de parafusos tipo rosca sem fim galvanizados com 10 mm de espessura revestido com bambu da espécie *Phyllostachys*. A figura 03 mostra o projeto do mezanino com a modulação das vigas e painel wall.

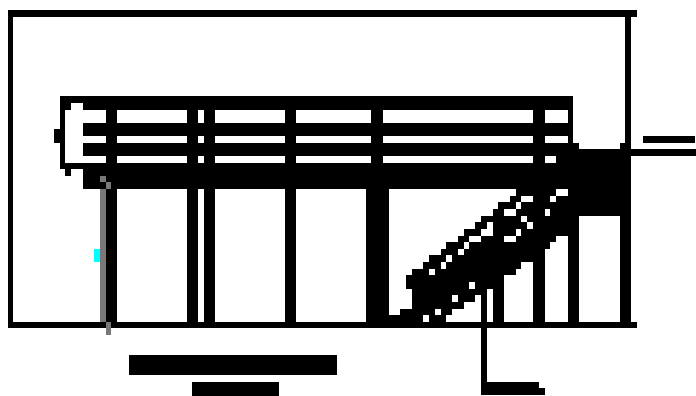


Figura 03. Planta baixa do mezanino.

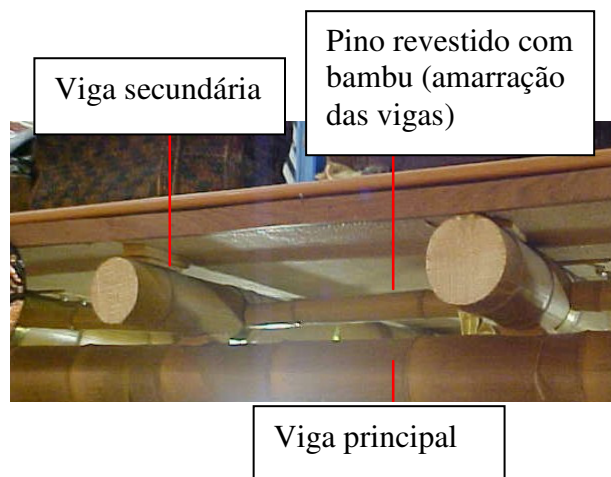
O sistema estrutural adotado compõe-se de colunas, vigas principais, vigas secundárias ou nervuras e piso painel wall, fixado nas nervuras, revestidos com carpete de madeira. As figuras 4 e 5 mostram este processo.



Pilar principal

Pilar estrutural
Guarda-corpo

Figura 04. Pilar principal e estrutural do guarda-corpo.



Viga secundária

Pino revestido com
bambu (amarração
das vigas)

Viga principal

Figura 05. Vigas principais e secundárias, amarração das vigas secundárias.

As colunas foram compostas por dois elementos engastados nas suas bases ao solo, através de um bloco de concreto enterrado no solo, com a profundidade de 1 metro. Um terceiro elemento foi instalado junto à coluna para amarração das vigas

e guarda-corpo, ambas colunas receberam um tratamento com asfalto frio antes da concretagem. A figura 06 mostra detalhes da fundação das colunas.

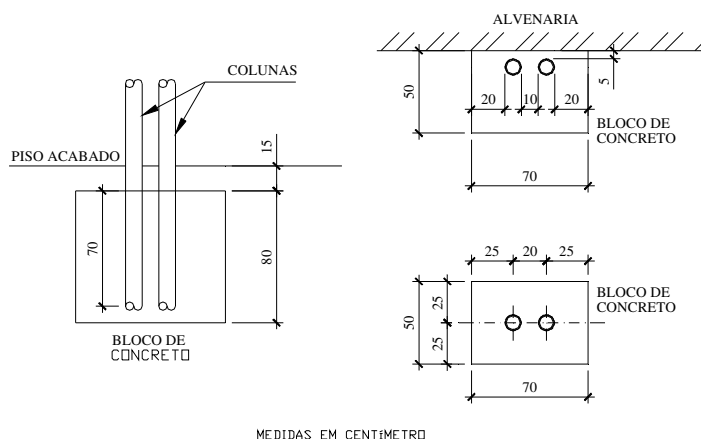


Figura 06 – Detalhes da fundação das colunas.

4.3.4. Formas de encaixe.

Para os encaixes dos colmos de bambu foram utilizados cortes biselar, nas uniões utilizou-se parafuso de rosca sem fim de 10 milímetros fixadas ao colmo preenchidas com concreto leve com partículas de carvão de bambu. No preenchimento o colmo recebeu um revestimento interno por uma borracha da espessura de 0,02 milímetros com a finalidade de evitar trincas, melhorar o trabalho de dilatação bambu e concreto. A figura 07 os desenhos inseridos mostram detalhes desse encaixe.

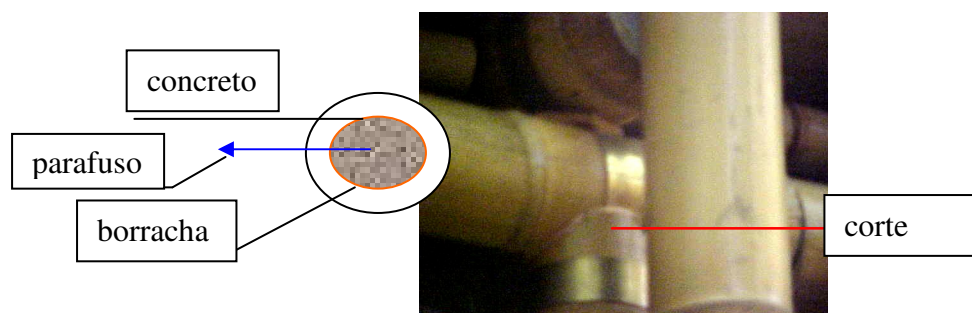


Figura 07 – Detalhe do tipo de união.

4.3.4. Escada

Para a confecção da escada foram utilizados feixes contendo 5 bambus *Phyllostachys edulis*, cortados na base de união com ângulo de 45 graus, unidos por parafusos de rosca sem fim de 10 milímetros no sentido transversal, os feixes de bambus são sustentados por (10) dez pilares, recebendo os mesmos procedimentos adotados para as fundações dos pilares da estrutura do mezanino. Os degraus são em madeira jatobá, com largura útil de 1,00 metro, 30 cm de largura e 05 cm de espessura, encaixados nos feixes de bambu apoiados por borracha de 10 mm. As figuras 08 (A e B) mostram os bambus de sustentação e detalhe do encaixe dos degraus.

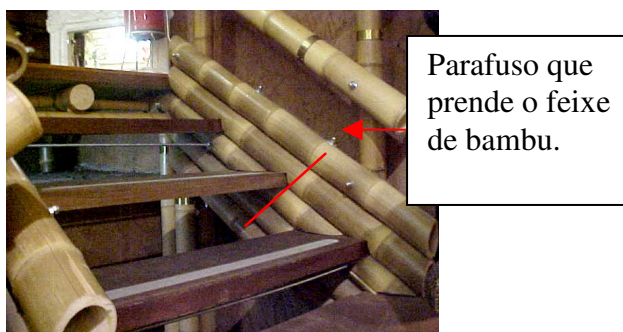


Figura 08 A. Detalhe do feixe de bambu que estrutura a escada.

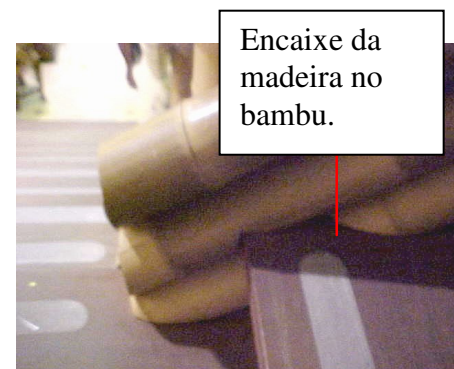


Figura 08 B. Detalhe do encaixe da madeira no feixe de bambu.

4.3.5. Cálculo estrutural

Foi baseado de acordo com as características mecânicas do bambu, bem como o carregamento no piso e escada conforme as normas adotadas pelo shopping.

$$\text{Cargas permanentes (peso próprio + revestimento)} \Rightarrow g = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Sobrecarga de utilização} \Rightarrow q = 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Total de carga $\Rightarrow p = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Seção transversal circular vazada para os elementos estruturais, vigas e pilares:

Diâmetro externo: $\phi_e = 10 \text{ cm}$

Diâmetro interno: $\phi_i = 7,5 \text{ cm}$

Características geométricas da seção transversal:

Área: $A = 34,4 \text{ cm}^2$

Inércia: $I = 335 \text{ cm}^4$

Características mecânicas adotadas para o bambu:

Resistência á compressão paralela às fibras : $f_{c0,k} = 71 \text{ MPa}$

Resistência à tração paralela às fibras: $f_{t0,k} = 120 \text{ MPa}$

Resistência mínima à flexão: $f_{b0,k} = 76 \text{ MPa}$

Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras: $f_{v0,k} = 3 \text{ MPa}$

Módulo de Elasticidade longitudinal paralelo às fibras: $E_{c0,m} = 8000 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidade transversal normal às fibras: $E_{c90,m} = 400 \text{ MPa}$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Compressão Simples

Dos resultados dos ensaios de compressão obteve-se uma média próxima de 34 MPa, sendo que no corpo de prova que apresentou maior tensão ocorreu o esmagamento do colmo. Conforme mostra os resultados na figura 09.

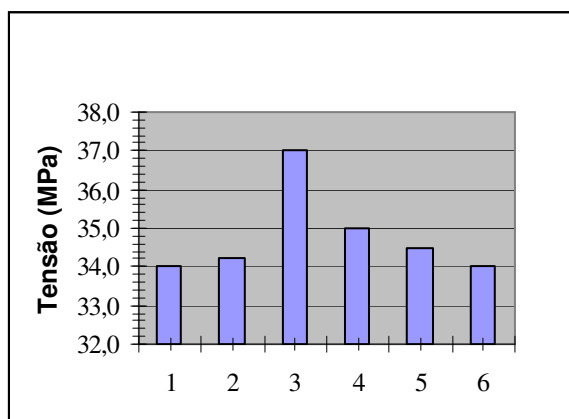


Figura 9 – Gráfico da Tensão nos corpos de prova.

5.2. Compressão Simples

Nos resultados obtidos observou-se uma carga pontual com uma média de 600 Kgf para o momento que o bambu começou a fletir. Analisando-se uma carga pontual para uma área de 1 m², obteve-se um resultado de 2.400 Kgf. A figura 10 mostra o gráfico da tensão de ruptura a partir dos resultados obtidos.

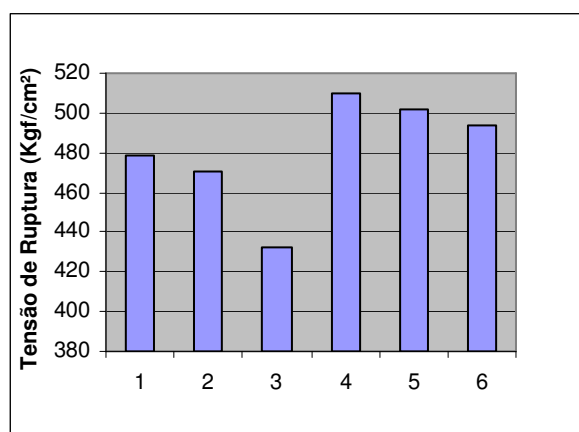


Figura 10 – Gráfico da Tensão de ruptura.

5.3. Valores do Cálculo Estrutural

O cálculo estrutural seguiu os mesmos princípios utilizados para as estruturas de madeira.

Coeficientes de ponderação para o Estado Limite Último

Decorrentes de tensão de compressão paralela às fibras $\gamma_{wc0} = 1,4$

Decorrentes de tensão de tração paralela às fibras

$$\gamma_{wt0} = 1,8$$

Decorrentes de tensão de cisalhamento paralelo às fibras $\gamma_{wv0} = 1,8$

Coeficientes de modificação

Coeficiente de modificação 1

$$k_{mod,1} = 0,60$$

Coeficiente de modificação 2

$$k_{mod,2} = 1,00$$

Coeficiente de modificação 3

$$k_{mod,3} = 0,80$$

Coeficiente de modificação total

$$k_{mod} = 0,48$$

Módulos de elasticidade

Longitudinal efetivo paralelo às fibras

$$E_{c0,ef} = 3840 \text{ MPa}$$

Transversal efetivo perpendicular às fibras

$$G_{ef} = 192 \text{ MPa}$$

Resistências de cálculo

Na compressão paralela às fibras

$$f_{c0,d} = 0,48 \frac{71}{1,4} = 24 \text{ MPa}$$

Na tração paralela às fibras

$$f_{t0,d} = 0,48 \frac{120}{1,8} = 32 \text{ MPa}$$

Na flexão

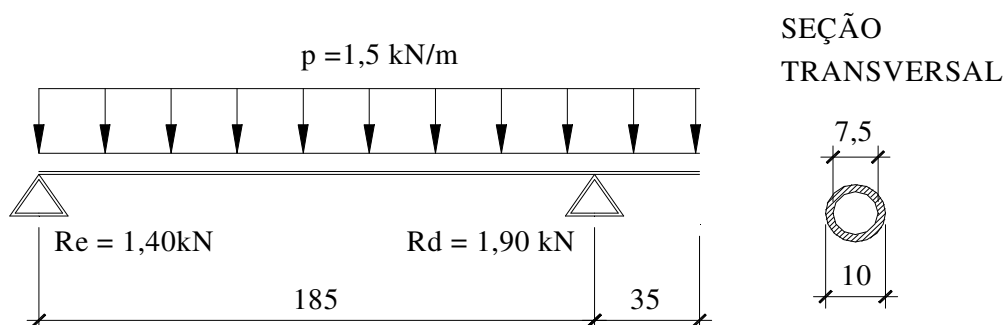
$$f_{b0,d} = 0,48 \frac{76}{1,4} = 26 \text{ MPa}$$

No cisalhamento

$$f_{v0,d} = 0,48 \frac{5}{1,8} = 1,3 \text{ MPa}$$

Para o cálculo das nervuras ou vigas secundárias adotou-se:

Carregamento $p = 2,5 \cdot 0,60 = 1,5 \text{ kN/m}$

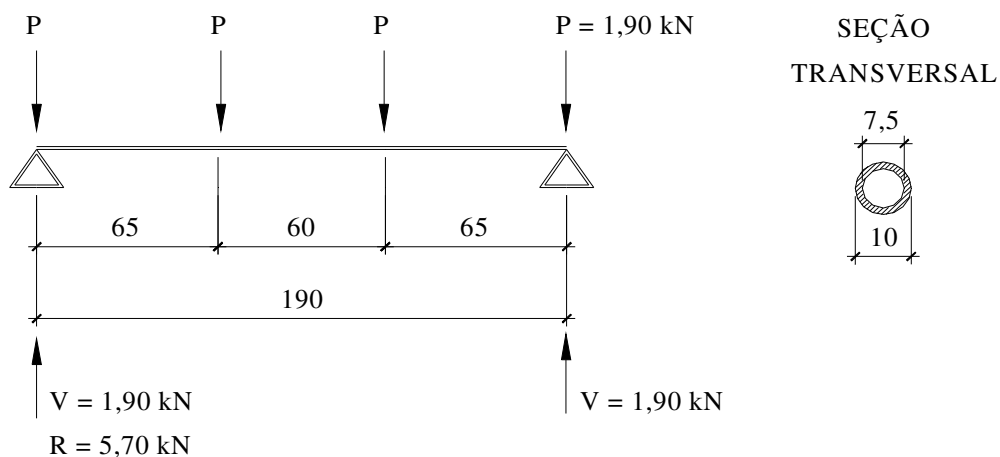


Momento fletor: $M_{\text{máx}} = 0,64 \text{ kN.m}$

Cortante: $V_{\text{máx}} = 1,40 \text{ kN}$

Para o cálculo estático das vigas principais adotou-se:

Carregamento: $P = R_d = 1,90 \text{ kN}$



Momento Fletor: $M_{\text{máx}} = 1,24 \text{ kN.m}$

Cortante: $V_{\text{máx}} = 1,90 \text{ kN}$

Relação de apoio: $R = 5,70 \text{ kN}$

Para as colunas embora sejam compostas por dois elementos elas trabalham de modo independente.

O cálculo utilizado seguiu as seguintes etapas:

Carregamento de cálculo: $P_d = 5,7 \text{ kN}$

Comprimento de flambagem: $L_{fl} = 0,8 \cdot L = 0,8 \cdot 290 = 232 \text{ cm}$

Raio de giração mínimo: $i_{\text{mín}} = 3,12 \text{ cm}$

Esbeltez da coluna: $\lambda = \frac{232}{3,12} = 74 < 80$

Tensões normais atuantes:
$$\sigma_{Nd} = \frac{5,7}{34,4} = 0,17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{N_d \cdot e_d}{I} y$$

Excentricidade:
$$e_a = \frac{232}{300} = 0,77 \text{ cm}, \text{ portanto } e_1 = 0,77 \text{ cm}$$

$$F_E = \frac{\pi^2 \cdot 3840 \cdot 335}{232^2} = 236 \text{ kN}$$

$$e_d = 0,77 \cdot \left(\frac{236}{236 - 5,7} \right) = 0,79 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Md} = \frac{N_d \cdot e_d}{I} y = \frac{5,7 \cdot 0,79}{335} \cdot 5 = 0,07 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

5.4. Estrutura da Escada.

A forma de execução adotada para a escada pode obter além de resistência, um elemento arquitetônico importante no contexto geral do projeto. A figura 09 (A,B e C) mostra a vista frontal do mezanino e lateral da escada em projeto e em loco.

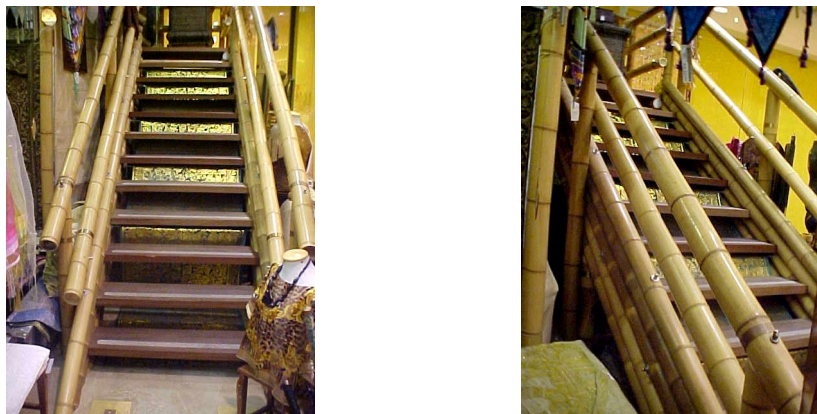


Figura 09 A e B. Detalhe frontal e lateral da escada.



Figura 09 C. Desenho da vista lateral do mezanino

6. CONCLUSÕES

A espécie de bambu utilizada *Phyllostachys edulis*, é indicada para a confecção de elementos estruturais, além da grande resistência mecânica possui estética e grande aproveitamento do colmo. A utilização das borrachas entre as uniões das vigas principais e secundarias foi primordial para evitar atrito e facilitar a uniformidade do conjunto, uma vez que os bambus não são totalmente regulares em diâmetro.

As dificuldades encontradas referem-se a falta de normas brasileiras no que se refere a utilização do bambu em construções bem como proteção contra incêndio. Para a aprovação deste projeto tivemos que trabalhar com normas internacionais, utilizando elementos super dimensionados referente a proteção contra incêndio.

A qualidade da execução de uniões bem como a espécie de bambu adequada para uso estrutural é fundamental para um bom projeto.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos proprietários da Orient Star: Dr. Francisco Ruette e Sra. Elizabeth por sempre acreditarem neste projeto. Ao Prof. Antônio Ludovico Beraldo por ter cedido o laboratório para os ensaios.

8. BAMBOO STRUCTURE IN A PUBLIC AREA

ABSTRACT: The use of bamboo as a constructive way in Brazil is very recent. Research conducted with this material are advancing, but still do not exist tools and appropriate standards for using. This work shows the execution of the first structure made by bamboo in a Shopping Center to a shop of Asian products. The material used to confection the mezzanine was *Phyllostachys edulis*, popularly known as “bambu mossô”. The results of the tests of physico-mechanical characterization denote the feasibility of using bamboo *Phyllostachys edulis* as structural element, proving the ancient Asian techniques of using this material in construction.

Keywords: Bamboo, structure, non-conventional material.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**, Anexo B. Rio de Janeiro.
- AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Gráfica da UNICAMP, Campinas, SP, 2001, 12pp.
- AZZINI, A.; CIARAMELO, D.; NAGAI, **Propagação vegetativa do bambu gigante**. Bragantia, Campinas, 37; I-III, 1978.
- BERALDO, A. L; AZZINI, A. **Bambu: características e utilizações**. Guaíba: Agropecuária, Rio Grande do Sul, 2004, 128 p.

- BERALDO, A. L. **Bambucreto: O uso do bambu como reforço do concreto.** In: XVI CONBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais. Jundiaí, SP, v. II, Jul., p. 521-530. 1987.
- HIDALGO LOPEZ, O. **Bambú, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.** Ed. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. 1974, 318 p.
- HIDALGO LOPEZ, O. **Nuevas técnicas de construcción con bambú.** Ed. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. 1978, 137 p.
- HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the world.** In: IBC 88, 1988, Prafrance.
- LEE, A . W.C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. **Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina.** Forester Products Journal, v. 44, n° 9, setembro, 1968, p. 40-46.
- LIESE, W. Anatomy of bamboo. In: Bamboo research in Asia: Proceedings of a workshop held in Singapore. Anais, Ottawa, Ont., IDRC., Mai, p. 165-172, 1980.
- NOMURA, T.; TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A . **Production and utilization of bamboo in Brazil.** In: IUFRO WORD CONGRESS, XVIII, 1986, Yugoslavia. Anais, Proceedings. Kyoto, Wood Research Institute, 1986, p.61-69.