



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS - IF  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica  
utilizando materiais alternativos.**

**Elisa Teodoro Sant'Anna**

**Orientador: Professor Dr. Alexandre Miguel do Nascimento**

**SEROPÉDICA, RJ  
FEVEREIRO DE 2008**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS - IF  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica  
utilizando materiais alternativos.**

Elisa Teodoro Sant'Anna

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Sob a orientação do professor  
Dr. Alexandre Miguel do Nascimento

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2008

Monografia aprovada em:...../...../.....

Comissão examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Alexandre Miguel do Nascimento

Titular 1: \_\_\_\_\_  
Alexandre Monteiro de Carvalho

Titular 2: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Edvá Oliveira Brito

Suplente 1: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Roberto Carlos Costa Lelis

Suplente 2: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. João Vicente de F. Latorraca

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter iluminado o meu caminho durante toda a minha vida, que me deu força para seguir em frente mesmo nos momentos mais complicados. E, principalmente, por ter colocado em meu caminho as pessoas maravilhosas que fazem parte da minha vida.

Aos meus pais, que sempre me fizeram acreditar que apesar das dificuldades, o esforço sempre vale à pena.

Às minhas irmãs por toda a ajuda, amor e amizade incondicional.

Ao meu padrasto pelo seu bom humor quase que constante que nunca permite que as dificuldades se tornem tão importantes.

Ao meu namorado, Rafael Campos Carneiro Ururahy, pela compreensão, carinho, cumplicidade durante estes anos tão importantes para nós.

Às meus amigos de infância Aline Lagden, Elisa Piquenard de Castro, Bruno Carneiro, Bruno Ururahy, Leonardo Calheiros, Marina Corrêa Porfírio, Renata Cruz, Samantha Pereira Passos, Tatiane Cardoso, Rodrigo Ourique, Wânia Maria Souza da Rocha.

Aos meus grandes companheiros de turma e espero que amigos eternos Jolmerson de Medeiros Silva, Juliana Torres de Sousa, Kátia de Souza Ueoka, Luana Almeida Bianquinni, Monise A. F. Magalhães, Rachel Torres Nogueira, Rafael Dias Mayer, Rafaela Silva de Oliveira, Renata Patrícia da R. P.E. de Oliveira, Tharcia Silva Ribeiro, Viviane Patrícia Januário, Ricardo Aparecido Bento e Tatiana Corrêa Ferreira.

Às minhas amigas de quarto, que nestes cinco anos foram a minha família, Amanda Fraga, Bruna Carolina da Silva, Cíntia Vieira Marinho, Denice de Moraes da Silva, Eliane Boareto, Lícia Costa, Milene Aparecida, Mariana Cordeiro.

Ao professor Alexandre pela amizade e pela oportunidade que me deu de ter aprendido com ele.

Ao Bruno Sales Motta por ter aceitado que eu fizesse parte do seu trabalho e que se mostrou uma pessoa extremamente solidária.

Ao Daniel Borges pela ajuda nos momentos finais de correria e sufoco.

E à Cleonice Vilela pelo carinho e pelo olhar carinhoso em todos os momentos de nossa convivência.

## RESUMO

O presente trabalho teve como principal objetivo o dimensionamento de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica, utilizando bambus das espécies *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*. Para tal foi definido o projeto arquitetônico e estudadas as conexões de algumas peças da construção. Para garantir a viabilidade do projeto foi realizada a análise estrutural, baseada em informações coletadas no laboratório da UFRRJ, no Departamento de Produtos Florestais, sobre as espécies utilizadas. Paralelamente a este processo foi executada uma revisão de literatura na busca das características não exploradas no presente trabalho.

Foi escolhido o sistema de treliças para a sustentação do telhado, que terá como cobertura o sapê e, para evitar o contato do bambu com a umidade do solo as colunas se fixarão no solo através de sapatas. Observaram-se regiões críticas da construção e a problemática envolvida na trabalhabilidade do bambu.

Nos estudos das propriedades geométricas das espécies constatou-se que o *D. giganteus* é a que apresenta maior diâmetro externo e interno médio, e maior espessura de parede média.

Em relação às propriedades de rigidez os valores encontrados para os bambus são próximos e às vezes mais elevados que os encontrados em madeiras. Já em relação às propriedades de resistência os valores encontrados para cisalhamento podem ser considerados baixos, já a resistência de flexão e compressão estão na mesma faixa de valores encontrados em algumas espécies florestais.

No que se refere à estabilidade da construção a análise estrutural confirmou a viabilidade da construção com as dimensões definidas no projeto arquitetônico.

**Palavras-chave:** bambu, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides*, *Phyllostachys aurea*, projeto arquitetônico, análise estrutural, propriedades.

## ABSTRACT

The present work had as main objective the sizing of a center of visitors in the Embrapa Fazendinha-Agroecológica, using bamboos of the species *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides* and *Phyllostachys aurea*. For such the project was defined architectural and studied the connections of some parts of the construction. To guarantee the viability of the project the structural analysis was carried through, based in information collected in the laboratory of the UFRRJ, the Department of Forest Products, on the used species. Parallel to this process a revision of literature in the search of the characteristics not explored in the present work was executed.

The system of truss for the sustentation of the roof was chosen, that will have as covering “sapê” and, to prevent the contact of the bamboo with the humidity of the ground the columns will be fixed in the ground through low shoes. Critical regions of the problematic construction and the involved one in the workability of the bamboo had been observed

In the studies of the geometric properties of the species one evidenced that the *Dendrocalamus giganteus* is the one that greater presents external diameter and internal medium, and greater thickness of average wall.

In relation to the rigidity properties the values found for the bamboos are next and to the raised times more than the found ones in wood. Already in relation to the resistance properties the values found for shear can be considered low. Already the bending resistance of and compression are in the same band of values found in some forest species.

As for the stability of the construction the structural analysis confirmed the viability of the construction with the dimensions defined in the project architectural.

**Word-key:** bamboo, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides*, *Phyllostachys aurea*, project architectural, structural analysis, properties.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3.1. O Bambu.....	3
3.2. <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	8
3.3. <i>Phyllostachys aurea</i> .....	12
3.4. <i>Bambusa tuldooides</i> .....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1. Projeto Arquitetônico.....	15
4.2. Estudo de Conexões.....	15
4.3. Estudo das Propriedades Geométricas e Mecânicas das Espécies.....	15
4.3.1. Material coletado.....	16
4.3.2. Mensuração de diâmetros.....	16
4.3.3. Módulo de elasticidade na flexão.....	17
4.3.4. Módulo de elasticidade na compressão.....	18
4.3.5. Resistência à compressão.....	19
4.3.6. Resistência ao cisalhamento.....	20
4.3.7. Resistência à flexão.....	23
4.4. Projeto Estrutural.....	24
4.4.1. Propriedades mecânicas das espécies.....	24
4.4.2. Propriedades físicas das espécies.....	24
4.4.3. Cargas na estrutura.....	24
4.4.4. Verificação dos critérios de dimensionamento.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Projeto Arquitetônico.....	29
5.2. Estudo de Conexões.....	31
5.3. Estudo de Propriedades Geométricas e Mecânicas das Espécies.....	32
5.3.1. Mensuração dos diâmetros.....	32
5.3.2. Módulo de elasticidade na flexão.....	37
5.3.3. Módulo de elasticidade na compressão.....	37
5.3.4. Resistência à compressão.....	38
5.3.5. Resistência ao cisalhamento.....	38
5.3.6. Resistência à flexão.....	39
5.4. Projeto Estrutural.....	39
5.4.1. Propriedades mecânicas das espécies.....	39
5.4.2. Características físicas das peças utilizadas.....	40
5.4.3. Cargas na estrutura.....	42
5.4.5. Cargas nas barras da treliça e nas colunas.....	43
5.4.6. Dimensionamento das colunas e das barras da treliça.....	43
5.4.7. Dimensionamento das peças do telhado.....	44
6. CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Partes constituintes do bambu.....	<b>3</b>
<b>Figura 2</b> - Variação na distribuição das fibras na parede do bambu em colmo de <i>P. aurea</i> por Cruz.....	<b>4</b>
<b>Figura 3</b> - Bambuzal beirando a estrada.....	<b>5</b>
<b>Figura 4</b> - Bambuzal na margem do rio.....	<b>5</b>
<b>Figura 5</b> - Vista frontal de uma boate no bairro da Lagoa-RJ em fase de construção.....	<b>7</b>
<b>Figura 6</b> - Complexa estrutura de um telhado.....	<b>7</b>
<b>Figura 7</b> - Casa de bambu no bairro do Itanhangá-RJ.....	<b>7</b>
<b>Figura 8</b> - Banco de bambu.....	<b>8</b>
<b>Figura 9</b> - Pilares de bambu.....	<b>8</b>
<b>Figura 10</b> - Touceira de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	<b>9</b>
<b>Figura 11</b> - <i>Phyllstachys aurea</i> .....	<b>12</b>
<b>Figura 12</b> - Touceira de <i>Bambusa tuldoides</i> .....	<b>13</b>
<b>Figura 13</b> - Tomada de diâmetros interno (d), diâmetro externo (D) e espessura da parede (e).....	<b>16</b>
<b>Figura 14</b> - Medição do comprimento da vara (L), do comprimento dos internódios (l) e do diâmetro dos nós (Do).....	<b>17</b>
<b>Figura 15</b> - Método para registrar a deformação do bambu na flexão.....	<b>18</b>
<b>Figura 16</b> - Corpo de prova para o ensaio de módulo de elasticidade na compressão.....	<b>19</b>
<b>Figura 17</b> - Dimensões do corpo de prova para o ensaio de resistência à compressão.....	<b>20</b>
<b>Figura 18</b> - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento para <i>B. tuldoides</i> e <i>P. aurea</i> .....	<b>21</b>
<b>Figura 19</b> - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento do <i>D. giganteus</i> .....	<b>21</b>
<b>Figura 20</b> - Medidas retiradas dos corpos de prova de cisalhamento de <i>P. aurea</i> e <i>B.tuldoides</i> .....	<b>22</b>
<b>Figura 21</b> - Medidas retiradas do corpo de prova de cisalhamento de <i>D. giganteus</i> .....	<b>22</b>
<b>Figura 22</b> - Esquema para o ensaio de resistência à flexão.....	<b>23</b>
<b>Figura 23</b> - Esquema do painel formado por duas treliças.....	<b>25</b>
<b>Figura 24</b> - Esquema geral do telhado.....	<b>26</b>
<b>Figura 25</b> - Vista frontal do galpão.....	<b>30</b>
<b>Figura 26</b> - Planta baixa do galpão.....	<b>30</b>

<b>Figura 27</b> - Detalhamento das terças e caibros do telhado do galpão.....	<b>31</b>
<b>Figura 28</b> - Vista lateral do centro de visitantes.....	<b>31</b>
<b>Figura 29</b> - Protótipo da junção do banzo superior com o tirante e a terça.....	<b>32</b>
<b>Figura 30</b> - Protótipo da junção do banzo superior com o pendural.....	<b>32</b>
<b>Figura 31</b> - Relação entre os diâmetros externo e interno em <i>Phyllostachys aurea</i> .....	<b>33</b>
<b>Figura 32</b> - Relação entre os diâmetros externo e interno em <i>Bambusa tuldooides</i> .....	<b>33</b>
<b>Figura 33</b> - . Relação entre diâmetros externo e interno em <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	<b>34</b>
<b>Figura 34</b> - Relação entre o n° do internó e o diâmetro externo das varas de <i>P. aurea</i> , <i>B.tuldooides</i> e <i>D. giganteus</i> .....	<b>35</b>
<b>Figura 35</b> - Relação entre o n° do internó e o diâmetro interno em <i>P. aurea</i> , <i>B. tuldooides</i> e <i>D.</i> <i>giganteus</i> .....	<b>35</b>
<b>Figura 36</b> - Relação entre o n° do internó e a espessura da parede em <i>P. aurea</i> , <i>B. tuldooides</i> e <i>D. giganteus</i> .....	<b>36</b>
<b>Figura 37</b> - Relação n° do interno e comprimento do interno para <i>P. aurea</i> , <i>B. tuldooides</i> e <i>D.</i> <i>giganteus</i> .....	<b>37</b>
<b>Figura 38</b> - Área total do galpão.....	<b>42</b>
<b>Figura 39</b> - Diagrama de forças na treliça.....	<b>42</b>
<b>Figura 40</b> - Esquema das barras da treliça e das colunas de sustentação.....	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Distribuição das espécies nos principais biomas brasileiros.....	5
<b>Tabela 2</b> - Gêneros endêmicos do Brasil e o respectivo número de espécies.....	6
<b>Tabela 3</b> - Resistência à tração e peso específico e alguns materiais.....	9
<b>Tabela 4</b> - Características físicas e mecânicas do <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	10
<b>Tabela 5</b> - Propriedades mecânicas do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	10
<b>Tabela 6</b> - Propriedades mecânicas do <i>Dendrocalamus giganteus</i> em diferentes partes do colmo com e sem nó.....	11
<b>Tabela 7</b> - Propriedades mecânicas do <i>Phyllostachys aurea</i> em diferentes regiões do colmo.....	13
<b>Tabela 8</b> - Propriedades físicas e mecânicas do <i>Bambusa tuldoides</i> .....	14
<b>Tabela 9</b> - Propriedades mecânicas do <i>Bambusa tuldoides</i> .....	14
<b>Tabela 10</b> - Propriedades mecânicas do <i>B. tuldoides</i> .....	15
<b>Tabela 11</b> - Módulo de elasticidade na flexão para <i>Phyllostachys aurea</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> e <i>Dendrocalamus Giganteus</i> .....	37
<b>Tabela 12</b> - Módulo de elasticidade na compressão para <i>Phyllostachys aurea</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> .....	38
<b>Tabela 13</b> - Valores médios de resistência à compressão (em MPa) em amostras com e sem nó.....	38
<b>Tabela 14</b> - Valores de resistência ao cisalhamento para as espécies <i>P. aurea</i> , <i>B. tuldoides</i> e <i>D. giganteus</i> .....	38
<b>Tabela 15</b> - Valores de resistência à flexão para <i>P. aurea</i> e <i>B. tuldoides</i> .....	39
<b>Tabela 16</b> - Resumo dos valores de resistência das espécies estudadas.....	39
<b>Tabela 17</b> - Resultados encontrados referentes às propriedades de rigidez das espécies.....	40
<b>Tabela 18</b> - Propriedades mecânicas de <i>Phyllostachys aurea</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> e <i>Dendrocalamus giganteus</i> por diversos autores.....	40
<b>Tabela 19</b> - Dados das peças utilizadas na construção.....	41
<b>Tabela 20</b> - Solicitação e tipo de tensão sofrida nas barras da treliça e nas colunas, pelo método de Cremona.....	43
<b>Tabela 21</b> - Verificação do dimensionamento das colunas de sustentação e das barras comprimidas da treliça.....	44

<b>Tabela 22</b> - Verificação do dimensionamento da barras tracionadas da treliça.....	<b>44</b>
<b>Tabela 23</b> - Dados das peças do telhado.....	<b>45</b>
<b>Tabela 24</b> - Análise da tensão de flexão nas peças do telhado.....	<b>45</b>
<b>Tabela 25</b> - Análise da flecha nas peças do telhado.....	<b>45</b>
<b>Tabela 26</b> - Análise da tensão cisalhante nas peças do telhado.....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos negativos que as ações antrópicas causam ao meio ambiente fez ressurgir a idéia do uso de materiais provenientes da natureza, ditos como alternativos, nas mais diversas vertentes produtivas. Uma vez que esse tipo de matéria-prima é não poluente, seu preparo apresenta um baixo consumo de energia e oxigênio, é renovável além de ter beleza estética peculiar. Na verdade, estes materiais foram os primeiros a serem usados pelo homem, antes do processo de industrialização e que, hoje estão sendo resgatados pela idéia do desenvolvimento sustentável.

A problemática da construção civil encaixa-se neste contexto, visto que elementos como a terra crua, as fibras naturais, madeira, barro, pedras, bambus entre outros foram muito utilizados em períodos remotos da história da construção (GHAVAMI & MARINHO, 2002). E como nos dias atuais encontram-se em alta os produtos com valor ecológico, aqueles que menos agridem o meio ambiente têm espaço garantido no mercado. O bambu é um exemplo característico, com seus usos múltiplos ele representa uma boa alternativa aos materiais convencionais em diferentes aspectos. Para a construção isto se explica pelo fato do bambu ser um material leve e resistente e ainda acrescentar ao projeto uma faceta ecológica.

Todas as partes do bambu podem ser aproveitadas, da camada externa do colmo se produz uma bebida antitérmica, das folhas verdes uma loção para os olhos e produtos como enzimas, hormônios, substâncias para cosméticos, xampus, cultivo de bactérias, carvão, óleo comestível, álcool, tecidos, papel, cordas, artesanato, alimento, além de poder ser utilizado como material de engenharia e construção civil (PEREIRA, 2001).

Em relação à produtividade, Régis (2004) afirma que o bambu no campo rende, em média, 25 toneladas por hectare por ano, consideravelmente mais do que o pinho que tem rendimento de 12 a 14 toneladas. O bambu ainda tem a vantagem de não necessitar de replantio, ao contrário da madeira, o bambu pode ser cortado a partir dos dois anos e feito o primeiro corte, pode-se cortá-lo a cada seis meses.

Além de ecológico e prático o bambu é muito resistente e flexível, estudos realizados por Ghavami (2001) mostram que a resistência a tração do bambu é alta, pode chegar a 370 MPa. A razão entre a resistência e seu peso específico é cerca de seis vezes maior que a do aço normal. A sua resistência à compressão é aproximadamente 30% da resistência à tração, mas com a vantagem de ser mais flexível que o aço, o que o torna uma opção promissora em locais com ocorrência de terremotos. Além de ser um material mais barato e econômico.

O bambu apresenta por unidade de resistência um custo energético consideravelmente menor quando comparado ao aço, uma vez que o bambu não necessita de maquinário para ser colhido, tem fácil transporte, é leve e é encontrado com bastante facilidade nas propriedades (REGIS, 2004). Segundo Barbosa (citado por TEIXEIRA, 2006), o aço para ser produzido necessita de temperaturas que podem alcançar a média de 1.800°C. A energia envolvida na produção de um simples vergalhão de 12,5 mm é da ordem de 80 kWh, equivalente ao consumo de uma família de baixa renda. O alumínio exige cerca de 20 vezes mais energia que o aço para sua produção. A alta temperatura dos fornos, para produção de um saco de cimento de 50 kg, chega a 1.450°C, e envolve aproximadamente 55kWh de energia. Comparando os níveis de energia citados com os exigidos para a produção de tijolos de barro cru, sem cozimento, utilizados no período do Brasil colonial, ou com colmos de bambu, utilizados em construções grandiosas e resistentes, observa-se uma diferença considerável. O tijolo de barro e o bambu praticamente não consomem energia para a sua produção, já que são encontrados

na natureza prontos para serem utilizados, o que os tornam ecologicamente viáveis, além de serem adequados do ponto de vista construtivo.

Ghavami (citado por RÉGIS, 2004) relata que “as indústrias de aço não só poluem a atmosfera com CO<sub>2</sub>, mas também reduzem o minério de ferro e as reservas de carvão, além de utilizarem petróleo para sua produção e transporte, contribuindo para a escassez dos recursos não renováveis.” Já o bambu segundo Jaramillo (citado por PEREIRA, 2006) é o recurso natural que leva menos tempo para ser renovado, não havendo nenhuma espécie florestal capaz de competir em velocidade de crescimento e aproveitamento por área. Em consequência do seu rápido crescimento ainda se destaca como um eficiente fixador de carbono (Pauli, citado por PEREIRA, 2006).

A gama de utilização do bambu e o apelo ecológico que oferece têm contribuído para divulgação do uso desse material. Regis (2004) afirma que apesar de pequena no Brasil já existe uma demanda por produtos confeccionados com bambu. Em contrapartida, no País não há ainda uma oferta consolidada de produtos desse tipo no mercado, pois ainda há muita pesquisa para ser desenvolvida. Portanto há o risco de perder essa oportunidade para outros países.

Para que o uso do bambu seja difundido ainda é necessário avançar em alguns aspectos. Uma questão muito importante é a durabilidade. De acordo com Liese (citado por TEIXEIRA, 2006), o bambu possui nas células de parênquima uma grande quantidade de polímeros de amido, que servem como reserva, que acabam por se tornarem atrativos ao ataque de fungos e insetos após o corte. Portanto, o tratamento do bambu é essencial para garantir a durabilidade e uma vida útil maior.

Outro grande problema é a higroscopicidade do bambu, assim como a madeira, ele sofre variações dimensionais de acordo com a umidade. Estudiosos afirmam que é recomendável que o bambu, após cortado, não fique em contato com o solo, para evitar o apodrecimento e o aparecimento de fungos. Teixeira (2006) aconselha que o bambu ao ser armazenado fique a pelo menos 15 cm do solo e abrigado da chuva e do sol.

A trabalhabilidade do bambu pode ficar comprometida devido ao fato do mesmo não apresentar raios (fibras radiais), portanto lasca-se muito facilmente, impossibilitando o uso de pregos sendo preferível o uso de encaixes, parafusos ou cola. Mas, por outro lado se a intenção for a confecção de laminados e ripas essa característica torna-se uma vantagem (RÉGIS, 2004). O bambu diferentemente da madeira não pode ter todas as suas dimensões trabalhadas, o que muitas vezes obriga o projeto a se adaptar às características do bambu e não o contrário.

A falta de padronização na confecção de estruturas de bambu dificulta todo o processo de adesão dessa tecnologia. O fato de não haver maquinário desenvolvido para trabalhar esse tipo de material, a falta conhecimento em relação às propriedades físicas, mecânicas, entre outras, e falta de mão-de-obra capacitada que saiba trabalhar com o bambu são algumas das barreiras a se superar quando se trabalha com este material.

Ghavami e Marinho (2002) afirmam que para o uso do bambu em grande escala como material de engenharia economicamente viável e com possibilidade de industrialização, faz-se necessário um estudo científico sistemático, através dos processos de plantação, colheita, cura, tratamento e pós-tratamento, além de uma completa análise estatística das propriedades físicas e mecânicas do colmo do bambu inteiro. A partir desses estudos, será possível estabelecer critérios confiáveis de dimensionamento e de emprego de processos industriais viabilizando economicamente o uso do bambu em grande escala.

Porém estes obstáculos podem ser sanados, já que, em meio a tantas vantagens muitos pesquisadores, arquitetos, engenheiros e curiosos vem trabalhado na busca de difundir o uso

do bambu. E esse processo torna visível a necessidade de investimento em pesquisas, políticas públicas, programas de incentivo, investimento em tecnologia de processamento deste material e formação de profissionais capacitados. De forma a permitir que uso do bambu seja aceito pela sociedade não somente como uma alternativa e sim como algo tradicional.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho teve o objetivo de dimensionar a construção de um centro de visitantes da Fazendinha Agroecológica na EMBRAPA, utilizando bambus das espécies: *Dendrocalamus giganteus*, *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*.

### 2.1. Objetivos específicos

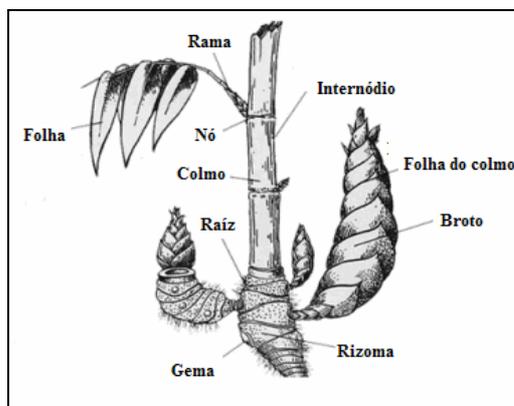
- Projetar arquitetonicamente a construção;
- Verificar as conexões em pontos críticos do projeto;
- Estudar as propriedades geométricas e mecânicas das espécies de bambu utilizadas na construção;
- Projetar estruturalmente, verificando a viabilidade técnica construtiva do projeto.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. O Bambu

Segundo Souza (2002) “o bambu surgiu na terra entre 100 e 200 milhões de anos da Era Cretácea, e hoje é distribuído em abundância em toda a zona tropical e subtropical terra. São encontrados em altitudes que variam de zero até 4.800 metros, com algumas restrições na Europa”.

O bambu faz parte da família das gramíneas e a subfamília Bambusoideae, monocotiledônea, pertencente às angiospermas, que por sua vez se divide em dois grupos: os bambus herbáceos e os bambus lenhosos (SILVA, 2005). Apesar de ser uma gramínea os bambus possuem hábito arbóreo, apresentando parte subterrânea com rizoma e raiz, e a parte aérea constituída por colmo, folhas e ramificação (Figura 1).



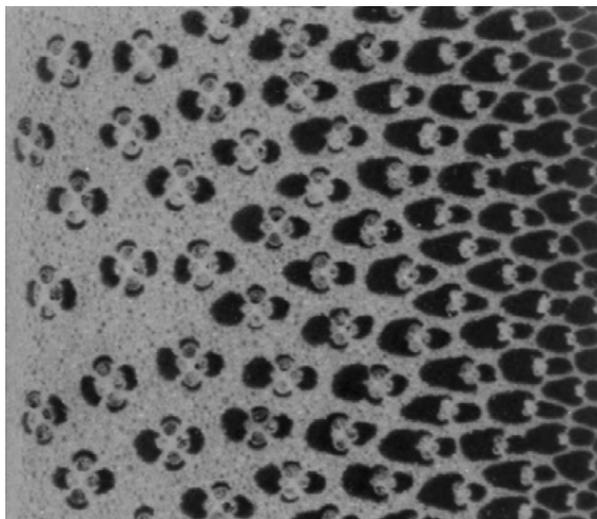
**Figura 1.** Partes constituintes do bambu (SILVA, 2005).

De acordo com Souza (2002) os colmos são produzidos assexuadamente, crescem de rizomas subterrâneos, que se desenvolvem horizontalmente, chegando a ocupar 500 km em 1 hectare. Existem dois tipos de rizomas: Pachymorphes, encontrados em bambus tropicais (*Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Guadua*) e em alguns temperados, são rizomas curtos e grossos, geralmente curvos para cima e sólidos. E o tipo Leptomorphes, encontrados em regiões temperadas (*Phyllostachys*), são rizomas longos e finos e crescem horizontalmente além de distâncias consideráveis.

O bambu, como dito antes, é uma planta de crescimento acelerado o que é refletido na forma alongada de seus colmos. Azzini et al. (citado por SILVA, 2005) avaliando a velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambus em Campinas, encontrou o valor máximo de 22 cm em 24 horas para *Dendrocalamus giganteus*. Já Ghavami (citado por SILVA, 2005) observou, no Rio de Janeiro, para a mesma espécie um incremento diário de 39 cm.

Segundo Souza (2002) o bambu não possui crescimento radial ele já nasce com seu diâmetro máximo e vai diminuindo em direção ao ápice originando uma forma cônica. Os colmos na maioria são ocos, consistem em fibras que chegam a centímetros, compostas por substância como lignina e silício. O silício agrega resistência mecânica ao bambu e a lignina dá flexibilidade.

Ghavami e Marinho (2002) afirmam que a distribuição das fibras é muito mais densa na parte externa da parede do colmo (Figura 2), mais próximos da casca, de forma que o material possa resistir às cargas de vento, que são as solicitações mais constantes durante a vida do material na natureza.



**Figura 2.** Variação na distribuição das fibras na parede do bambu em colmo de *P. aurea* por Cruz (2002).

Segundo Teixeira (2006) “a disposição das fibras do bambu é orientada no sentido paralelo ao eixo do colmo, por isso a resistência à tração longitudinal às fibras é bastante alta”.

Segundo Hidalgo-Lopes (2003) no mundo todo há cerca de 1600 espécies de bambu em 141 gêneros. Sendo que 67% estão na Ásia e Oceania, 3% na África e 30% nas Américas. E aproximadamente 200 espécies são nativas do Brasil e ainda há muitas espécies a serem identificadas. A Tabela 1 mostra como as espécies estão distribuídas nos biomas brasileiros.

**Tabela 1.** Distribuição das espécies nos principais biomas brasileiros (TEIXEIRA, 2006).

<b>Biomas</b>	<b>n° de espécies</b>	<b>%</b>
Mata Atlântica	151	65
Amazônia	60	26
Cerrado	21	9
<b>Total</b>	<b>232</b>	<b>100</b>

Como a riqueza de espécies é muito grande há variações de todas as naturezas entre cada uma delas. Algumas espécies como é o caso do *Dendrocalamus giganteus* que podem ter até 40m de comprimento, outras espécies podem apresentar altura de menos de 1 cm.

Apesar de toda essa riqueza de espécies, a cultura brasileira Brasil não valoriza os elementos naturais, muito pelo contrário, a alvenaria, introduzida pela cultura européia, é utilizada até hoje (SOUZA, 2002). Diferente do que ocorreu na Ásia, e em alguns países da América Latina como Colômbia e Equador, onde o bambu é utilizado largamente na construção civil há séculos. Segundo Régis (2004), os chineses têm catalogados cerca de dez mil utilidades do bambu, lá onde o bambu é considerado o ouro verde da floresta e amigo do homem.

Por essa falta de hábito da utilização do bambu no Brasil muitas pessoas ainda o vêem como mato e sujeira, já que é encontrado com bastante facilidade e abundância em propriedades rurais, em beira de estradas (Figura 3) e em margens de rios (Figura 4). Sendo assim, sua presença acaba sendo banalizada sem que seja analisada a sua importância. Aqui seu uso se restringe às pequenas estruturas em propriedades rurais como galinheiros, cercados, calhas, etc. O que acabou gerando atualmente uma postura negativa perante o emprego de matérias-primas naturais em projetos (RÉGIS, 2004).



**Figura 3.** Bambuzal beirando a estrada.



**Figura 4.** Bambuzal na margem do rio.

Devido à falta de interesse dos brasileiros na utilização do bambu, a maioria das espécies nativas do Brasil não foi estudada, desta forma criou-se uma tendência de utilizar espécies já pesquisadas em outros países, como é o caso do *Bambusa vulgaris*, *Guadua augustifolia*, *Dendrocalamus giganteus* entre outros. (SOUTO, 1990).

As espécies mais conhecidas pelos brasileiros são em sua maioria de origem asiática tais como *Bambusa vulgaris vittata* (bambu-imperial), *Bambusa vulgaris* (bambu-verde), *Bambusa tuldoides* (bambu-comum), *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante ou bambu-balde) e algumas espécies de *Phyllostachys* (TEIXEIRA, 2006).

De acordo com Régis (2004), as espécies *Bambusa vulgaris* e *Bambusa vulgaris vittata* são as mais abundantes em todo o mundo e são ótimas para a obtenção de celulose e amido. O *Guadua augustifolia* é muito utilizado em países da América Latina como Colômbia e Equador na construção de casas. O *Bambusa tuldoides* é muito utilizado em propriedades rurais como cerca viva nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. A espécie *Dendrocalamus giganteus*, também conhecida como bambu gigante é empregado para a construção de móveis, vasos, luminárias, encanamentos; na Ásia é muito usado na alimentação devido ao seu doce sabor. Os bambus do gênero *Phyllostachys* chamados de cana-da-índia, são utilizados para a fabricação de móveis e artesanato.

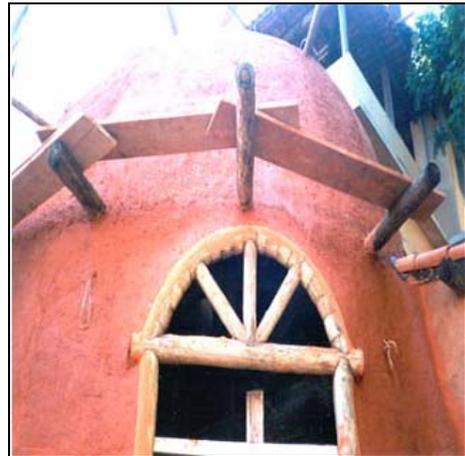
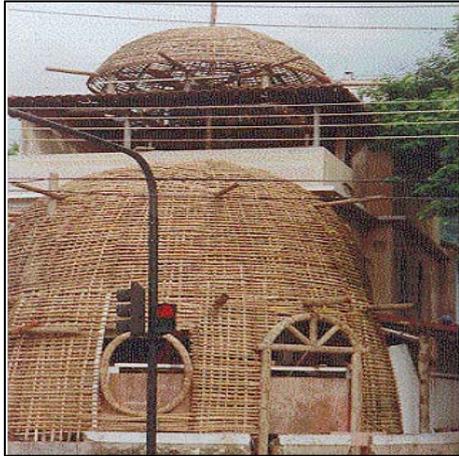
Porém, nenhum dos gêneros citados anteriormente é nativo do Brasil, mas se adaptaram muito bem às nossas condições de solo e clima, tanto é verdade que existem pessoas que acreditam que a espécie *Bambusa vulgaris* é brasileira, devido a sua ampla distribuição.

A Tabela 2 apresenta alguns gêneros endêmicos do Brasil, ao avaliar a lista observa-se que os nomes citados são pouco conhecidos já que na bibliografia consultada não há descrição de nenhum deles.

**Tabela 2.** Gêneros endêmicos do Brasil e o respectivo número de espécies (TEIXEIRA, 2006).

Gêneros	nº de espécies
<i>Alvimia</i>	3
<i>Apoclada</i>	1
<i>Athroostachys</i>	1
<i>Diandrolyra</i>	3
<i>Eremocaulon</i>	5
<i>Filgueirasia</i>	2
<i>Glaziophyton</i>	1
<i>Reitzia</i>	1
<i>Sucrea</i>	3
<b>Total</b>	<b>19</b>

Apesar das espécies nativas não serem muito exploradas, outras espécies mais utilizadas vieram abrindo portas para a disseminação do uso do bambu. O reconhecimento das pessoas em relação à qualidade deste material tem aumentado a cada dia. Hoje no Brasil já existem exemplos de aplicação do bambu em construções definitivas. Foi percebido e aceito que o bambu permite uma grande diversidade de usos na confecção de estruturas, pisos, paredes, telhados, além de poder ser associado a diversos materiais. As Figuras 5 a 9 mostram um pouco do que pode ser feito com o bambu e alguns exemplos do que já foi construído aqui no Brasil usando esta matéria-prima.



**Figura 5.** Vista frontal de uma boate no bairro da Lagoa-RJ em fase de construção (CRUZ, 2002).



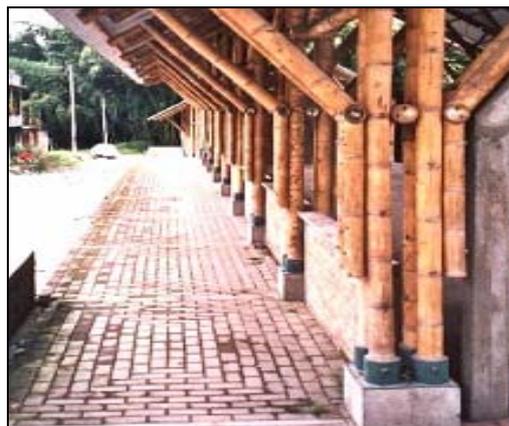
**Figura 6.** Complexa estrutura de um telhado, obra do arquiteto colombiano Vélez (TEIXEIRA, 2006).



**Figura 7.** Casa de bambu no bairro do Itanhangá-RJ (CRUZ, 2002).



**Figura 8.** Banco de bambu.



**Figura 9.** Pilares de bambu (TEIXEIRA, 2006).

Na elaboração do projeto do centro de visitantes a disponibilidade de matéria-prima, as características das espécies e a quantidade de informação disponível foram determinantes para a escolha das mesmas. Considerando que não é possível dimensionar uma estrutura sem antes conhecer o comportamento do material que irá compô-la, por isso a escolha de espécies conhecidas e estudadas. Nos próximos itens cada uma das três espécies é descrita separadamente com informações encontradas na literatura que serviram de banco de dados para o projeto em si. Foram reunidas informações referentes a dimensões, densidade, comprimento, o comportamento mecânico, utilizações mais comuns de cada uma das espécies.

### **3.2. *Dendrocalamus giganteus***

Esta é a maior espécie entre todos os bambus. Seu centro de origem é o Myanmar, onde geralmente ocorre associado à *Tectona grandis* (teca) em altitudes em torno de 1200m. Apresenta colmos eretos, com entrenós variando de 30 a 55 cm. Pode alcançar o comprimento de até 30 m, diâmetro de 0,3 m e 90 kg quando hidratado. O florescimento é esporádico e há relatos que aconteceria em intervalos de 40 anos (SILVA, 2005).

O bambu gigante ou também conhecido como bambu balde (*Dendrocalamus giganteus*) é um bambu relativamente comum em nosso meio como destacam Azzini et alli. (1982), é uma planta perene e com grande potencial agrícola, devido a sua característica de produzir colmos assexuadamente ano após ano, sem necessidade de replantio e com grande produtividade por área (PEREIRA, 1997).

Segundo Teixeira (2006) o *Dendrocalamus giganteus* é uma das espécies com maiores possibilidades de uso. Porém, existe certa dificuldade no seu manejo em função da proximidade dos seus colmos. E possui, como principal característica, diâmetro avantajado, sendo um dos maiores existentes entre a espécie, podendo variar de 10 a 25 cm de diâmetro.

Nascimento (1990) em seus estudos encontrou um valor mínimo de diâmetro para o bambu gigante de 12,90 cm e máximo de 19,23 cm, ambos a 1,30 m do solo. Observou também que os diâmetros dentro de um mesmo internódio tendem a diminuir à medida que se aproxima do próximo entrenó, no sentido da base para o topo. O que consiste em concluir que a forma deste bambu mais se aproxima de um cone do que de um cilindro.

Teixeira (2006) afirma que esta espécie possui cor verde acinzentada e seus colmos atingem dimensões máximas com aproximadamente seis meses de idade. A Figura 10 mostra a espécie em questão.



**Figura 10.** Touceira de *Dendrocalamus giganteus* (BARBOSA et al., 2006).

São suas características físicas e mecânicas que permitem suas diferentes aplicações. As características mecânicas têm muita influência da umidade do colmo, da idade, da densidade e principalmente do conteúdo de fibras, que é o principal responsável pela sua resistência (PEREIRA, 1997).

De acordo com Nascimento (1990) o valor de densidade básica média do bambu gigante é igual a  $0,63\text{g/cm}^3$ , havendo grande variação da mesma entre colmos e em um mesmo colmo. Segundo Liese, (citado por NASCIMENTO, 1990) a densidade do bambu varia de  $0,5$  a  $0,9\text{ g/cm}^3$ , aumentando ao longo do colmo, no sentido base-ápice, devido ao aumento do número de feixes fibrovasculares por unidade de área à medida que se aproxima do topo.

Em comparação com outros materiais de construção o bambu na forma de ripas laminadas pode ser considerado como um material leve. Em comparação com as madeiras ele pode se considerado como um material de média densidade, situando-se acima de madeiras de coníferas nativas ou de reflorestamento como, por exemplo, Pinho-do-Paraná (*Araucária angustifolia*) com  $0,58\text{ g/cm}^3$  ou *Pinus taeda* com  $0,64\text{ g/cm}^3$  ou ainda comparável a algumas espécies de madeira dicotiledônea de reflorestamento ou nativas, como por exemplo, *Eucalyptus saligna* com  $0,75\text{ g/cm}^3$  ou Cupiúba (*Goupia glabra*) com  $0,83\text{ g/cm}^3$  (PEREIRA, 2006). A Tabela 3 abaixo mostra a relação, de uma forma geral, entre a resistência a tração e a densidade de diferentes materiais. E o que se observa é o destaque do bambu como o material mais leve dentre os mostrados.

**Tabela 3.** Resistência à tração e peso específico em alguns materiais por Cruz (2002).

Material	Resistência à tração ( $\text{N/mm}^2$ )	Peso específico ( $\text{N/mm}^3 \cdot 10^{-2}$ )	$R(\sigma/v)10^2$	R/Raço
Aço	500	7,83	0,63	1
Bambu	140	0,8	1,75	2,77
Alumínio	304	2,7	1,13	1,79
Ferro fundido	281	7,2	0,39	0,62

\*R é a relação entre a resistência à tração e o pesos específico do material.

O *D. giganteus* é uma espécie muito estudada devido à sua ampla utilização em outros países, e agora também aqui no Brasil. Apesar de ter suas propriedades físicas e mecânicas estudadas pelos pesquisadores, assuntos como manejo, melhoramento, entre outros, ainda necessitam de aprofundamento, e não somente para esta espécie, mas como para todas as espécies de bambu utilizadas.

Gonçaves et al.(citado por PEREIRA, 2001) estudou a espécie e encontrou para a tensão de tração um valor médio de resistência de 135,0 MPa, resistência à compressão de 40,0 MPa, ao cisalhamento de 46,0 MPa e à flexão de 108,0MPa.

Lima Jr. et al.(citado por PEREIRA, 2001) determinou além de características mecânicas, características físicas da espécie encontradas na Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4.** Características físicas e mecânicas do *Dendrocalamus giganteus* por Lima Jr. et al., (citado por PEREIRA, 2001, p. 16).

<b>Propriedades físicas e mecânicas</b>	<b><i>D. giganteus</i></b>
Resistência à compressão (MPa)	77
Resistência à tração (MPa)	115
Resistência à flexão (MPa)	152
Módulo de elasticidade à tração (GPa)	11
Comprimento dos internos (m)	0,55 a 0,65
Diâmetro externo(m)	0,12 a 0,14
Espessura da parede (m x10 <sup>-2</sup> )	1,0 a 1,2

Em 2000 Lima Jr. et al.( citado por LIMA JR. & DIAS, 2001) avaliou algumas características mecânicas do *Dendrocalamus giganteus* de acordo com a presença e ausência de nós, os resultados estão na Tabela 5.

**Tabela 5.** Propriedades mecânicas do bambu *Dedrocalamus giganteus* por Lima Jr. et al. (citado por LIMA JR. & DIAS, 2001).

<b>Propriedades do <i>Dendrocalamus giganteus</i></b>	<b>sem nó</b>	<b>com nó</b>
Resistência à tração (MPa)	227,2	97,5
Módulo de elasticidade na tração (GPa)	23,7	13,1
Resistência à compressão (MPa)	56,6	57,9
Módulo de elasticidade na compressão (GPa)	20,5	21,8

Ghavami (citado por PEREIRA, 2001) também pesquisou a espécie, e avaliou as propriedades em diferentes partes do colmo, assim como a influência da presença de nó nos valores de resistência, encontrando os resultados da Tabela 6.

**Tabela 6.** Propriedades mecânicas do *Dendrocalamus giganteus* em diferentes partes do colmo com e sem nó, por Ghavami (citado por PEREIRA, 2001).

Propriedades mecânicas <i>D. giganteus</i>	superior		médio superior		médio		médio inferior		inferior	
	nó	internó	nó	internó	nó	internó	nó	internó	nó	interno
Resistência à compressão (MPa)	32,6	49	37,5	50	32,9	47,5	33	41,5	58,8	39,7
Resistência à tração (MPa)	109,3	156	119,2	148,3	114,6	139,7	109,3	129,8	99,3	101,6
Resistência à flexão (MPa)	86	136,7	102	152,5	97	122,8	94,6	118,3	85,6	112
Módulo de elasticidade à compressão (x10000 MPa)	2,45	3,08	4,1	4,58	4,01	4,46	3,75	4,56	3,57	3,41
Módulo de elasticidade à tração (x10000 MPa)	8,6	10,7	12,7	15,5	12,7	15,9	12,50	15,2	12,2	14,9
Módulo de elasticidade à flexão (x10000 MPa)	7,2	8,9	10,5	13,4	11,1	12,9	10,3	12,6	10,6	12,9
Resistência ao cisalhamento transversal (MPa)	49		44,5		45,6		44,7		47	

Em um outro estudo Ghavami e Marinho (citado por CRUZ, 2002) encontraram valores de tensão máxima de tração de 224,0 MPa, referente a amostras da parte intermediária do colmo sem nó, e mínimo de 73,0 MPa de amostras da base com nó, o valor médio foi de 154,5 MPa. Neste mesmo estudo também foi determinado os valores referentes ao módulo de elasticidade à compressão, cujo valor médio encontrado foi de 21,1 GPa e, para o módulo de elasticidade à tração o valor médio foi de 18,9 GPa.

Em relação à tensão de cisalhamento paralelo às fibras, Ghavami e Marinho (citado por GHAVAMI & MARINHO, 2002) encontraram valores médios de resistência ao cisalhamento de 3,6 MPa e 3,4 MPa em corpos-de-prova com e sem nó respectivamente. Já Moreira (1991) encontrou valor médio de 7,0 MPa. Ghavami e Souza (citado por CRUZ, 2002, p. 44) obtiveram valores médios de resistência de 3,1MPa e 3,11 MPa para corpos-de-prova com dois e três cortes.

Em estudo realizado por Culzoni (citado por CRUZ, 2002) o valor da resistência ao cisalhamento transversal às fibras foi de 44,7 MPa a 49 MPa para esta espécie.

Pode-se observar que há uma considerável variação entre os resultados encontrados pelos autores o que é explicado por Pereira (1997) que afirma que a grande dificuldade encontrada na determinação das propriedades mecânicas dos colmos de bambu é a inexistência de padronização dos ensaios, o que faz com que em cada pesquisa seja utilizada uma metodologia diferente da outra, dificultando a comparação dos resultados.

A pesquisa de características físicas e de resistência mecânicas é importante para que haja uma validação da qualidade deste material confirmando o seu potencial tecnológico (PEREIRA, 2006).

### 3.3. *Phyllostachys aurea*

Conhecido como cana-da-Índia, vara de pescar ou bambu-jardim, o *Phyllostachys aurea* é uma espécie nativa da China, mas que é encontrado também no Japão, Taiwan, América Central, América do Sul. É uma das mais conhecidas em todo o mundo e a que melhor tem se adaptado ao clima temperado, devido aos seus rizomas leptomorfos. Sua altura varia em média de 6 a 12 m, e diâmetro entre 2 e 7 cm. Seus colmos se apresentam verdes quando jovem ficando amarelo esverdeado com o passar do tempo. O comprimento dos internódios aumenta da base para o topo (Ohrnberger, citado por CRUZ, 2002). A Figura 11 mostra a espécie em questão.



**Figura 11.** *Phyllostachys aurea* (RÉGIS, 2004).

No Brasil é uma das espécies mais utilizadas para a fabricação de móveis, varas de pescar e estruturas trançadas. Diferentemente da Ásia, aqui ela é usada em detrimento das espécies de diâmetros maiores. Sua aplicação se deve à alta resistência ao ataque de *Dinoderus minutus*, inseto que ataca bambus, e pelo fato de se curvar facilmente quando suas fibras são expostas ao aquecimento. Deve-se tomar cuidado com o seu cultivo, pois é uma espécie altamente invasiva (SILVA, 2005).

“É uma espécie muito pouco estudada do ponto de vista de suas propriedades físicas, mecânicas e mesoestruturais” (CRUZ, 2002).

A Tabela 7 mostra valores encontrados por Cruz (2002) resultados de pesquisas sobre propriedades mecânicas do *Phyllostachys aurea* em diferentes regiões do colmo, avaliando também a influência da presença de nó na resistência do bambu.

**Tabela 7.** Propriedades mecânicas do *Phyllostachys aurea* em diferentes regiões do colmo (CRUZ, 2002).

Propriedades do <i>P. áurea</i>	base com nó	base sem nó	mediana com nó	mediana sem nó	topo com nó	topo sem nó	média
Resistência à tração (MPa)	174,7	193,1	220,3	234,8	167,1	272,4	210
Módulo de elasticidade na tração (GPa)	19	18,5	16,3	20,8	15,2	23,7	18,9
Resistência ao cisalhamento // às fibras (MPa)	3,1	3,9	3,4	4,6	4,1	4,6	3,9
Resistência ao cisalhamento transversal às fibras (MPa)	51,0	44,5	47,1	46,9	37,8	44,6	45,4
Resistência à compressão (MPa)	72,6	68,6	51,3	79,86	75,5	77,	70,9
Módulo de elasticidade na compressão (GPa)	24,3	21,1	22,7	25,4	22,3	33,1	24,8

### 3.4. *Bambusa tuldoides*

Segundo Alves et al (citado por TEIXEIRA, 2006), esta espécie possui colmos de paredes grossas em relação ao seu diâmetro, dando ao mesmo uma resistência mecânica alta. O diâmetro varia de 3 a 8 cm e sua altura de 8 a 12 m. Tem cor verde e apresenta uma notável linearidade em seus colmos que pode ser observada na Figura 12.

É bastante empregado no Vietnã na produção de móveis. No Brasil, conhecido em algumas regiões como bambu crioulo, é uma das espécies preferidas como tutor no cultivo de tomate (SILVA, 2005).



**Figura 12.** Touceira de *Bambusa tuldoides* (TEIXEIRA, 2006).

Alves et al. (citado por TEIXEIRA, 2006) estudou a espécie e suas propriedades, encontrando os resultados apresentados na Tabela 8 abaixo.

**Tabela 8.** Propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* por Alves et al.(citado por TEIXEIRA, 2006).

<b>Propriedades do <i>Bambusa tuldoides</i></b>	<b>seco ao ar</b>	<b>Verde</b>
Resistência à compressão (MPa)	26,8	57,0
Resistência à tração (MPa)	131,8	127,3
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,073	1,1
Teor de umidade (%)	9,5	89,1

Gonçalves et al (citado por PEREIRA, 2001) avaliou a resistência mecânica do *Bambusa tuldoides* e encontrou os resultados da Tabela 9.

**Tabela 9.** Propriedades mecânicas do *Bambusa tuldoides* por Gonçalves et al.(citado por PEREIRA, 2001).

<b>Propriedades mecânicas</b>	<b><i>B. tuldoides</i></b>
Resistência à tração (MPa)	111,0
Resistência à compressão (MPa)	34,0
Resistência flexão (MPa)	93,0
Resistência ao cisalhamento (MPa)	54,0

Já para Nascimento (2002), que também estudou a espécie, os valores de resistência à compressão paralela às fibras variaram de 65,8 a 88,2 MPa, e de resistência ao cisalhamento de 11,5 a 15,8 MPa. Concluiu ainda, que o valor médio de resistência à compressão é equivalente a 75,4 MPa pode ser comparado com a da Aroeira do sertão (*Astronium urundeuva*) equivalente a 77,1 MPa, com 15% de umidade, encontrado por Brotero (1956). E o valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, 13,8 MPa, pode ser comparado ao valor médio encontrado também por Brotero (1956) referente à madeira de Ipê-roxo (*Tecoma inpetiginosa*), de 14,2 MPa. Em relação à densidade foram encontrados valores entre 0,65 e 0,82 g/cm<sup>3</sup>, com média de 0,71 g/cm<sup>3</sup>, valores estes, que o autor afirma serem comparáveis aos valores encontrados em madeiras de folhosas tropicais.

Culzoni (1986) avaliou diversas espécies de bambu e suas características mecânicas para fins estruturais, analisando o *Bambusa tuldoides* encontrou os resultados da Tabela 10 abaixo.

**Tabela 10.** Propriedades mecânicas do *B. tuldoides* por Culzoni (1986).

Propriedades mecânicas	Base		Topo	
	com nó	sem nó	com nó	sem nó
Resistência à compressão (MPa)	30,2	37,8	30	38,3
Resistência à tração (MPa)	112	140,5	95,8	98
Resistência ao cisalhamento transversal (MPa)	50		59	
Resistência à flexão (MPa)	94	115,2	79	84
Módulo de elasticidade à compressão (MPa)	29680	32400	28310,7	27840
Módulo de elasticidade à tração (MPa)	9992,2	12666,2	8552,2	11192,5
Módulo de elasticidade à flexão (GPa)	8160,2	8936,9	6349,5	9737,5

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Projeto Arquitetônico

A idéia do projeto surgiu da necessidade de se construir um espaço de recepção aos visitantes da Fazendinha Agroecológica da Embrapa Agrobiologia, no Km 07 da BR. 465, além de dar um fim mais nobre para os bambuzais existentes na Instituição. Como a construção estaria inserida em um local que promove e pesquisa a utilização de produtos orgânicos, mais acessíveis ao pequeno produtor rural, métodos alternativos e menos impactantes de produção; não poderia ser confeccionada com um material que contradissesse a filosofia pregada no local. Por isso a escolha do bambu e do sapê. A intenção é que o centro de recepção traga às pessoas a sensação de tranquilidade e contato direto com a natureza buscando a rusticidade, e ao mesmo tempo aguçar a percepção do visitante para a inserção de elementos naturais no cotidiano, tudo isso minimizando as agressões ao ambiente. O projeto deveria apresentar viabilidade técnico-construtiva e ambiental além do conforto aos usuários. Mas para que a construção pudesse ser considerada segura e duradoura, era necessário projetá-la de forma a não oferecer riscos aos freqüentadores.

Foi escolhido o sistema de treliças para a sustentação do telhado. Segundo Souza (2002) as treliças espaciais são indicadas para a cobertura de galpões e pontes, caracterizando-se por vencer grandes vãos.

A escolha das espécies para compor as diferentes peças da estrutura se deu da seguinte maneira: as peças estruturais das barras da treliça, terças e colunas deveriam ter maior diâmetro, já que seriam responsáveis pela sustentação do telhado. As peças como ripas e caibros poderiam ser confeccionadas com peças provenientes de espécies com diâmetros menores. Desta forma definiu-se que as barras da treliça, as terças e as colunas de sustentação seriam de *Dendrocalamus giganteus*. Os caibros seriam feitos com varas de *B. tuldoides* e as ripas (peças de menor diâmetro) com varas de *P. aurea*.

Para evitar problemas com a absorção de umidade o bambu será fixado ao solo por meio de sapatas de concreto.

O telhado será confeccionado com sapê, que além de ser leve é um material ecológico.

### 4.2. Estudo de Conexões

Segundo Souza (2002) o que garante a estabilidade de uma estrutura são os encaixes, por isso foram confeccionados protótipos com bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus*, coletados no Campus da UFRRJ, visando avaliar possíveis problemas de encaixe, amarração e esmagamento dos bambus nas conexões, já que o bambu é um material oco. Confeccionou-se para os pontos mais críticos da construção: a junção do pendural com o banzo superior e a junção do banzo superior com o tirante. As ligações dos bambus nesta etapa foram executadas com uso de parafusos. Souza (2002) afirma que ligações com parafusos de ferro com porca e arruela são os mais indicados para nós primários.

### 4.3. Estudo das Propriedades Geométricas e Mecânicas das Espécies

#### 4.3.1. Material coletado

As espécies foram coletadas em diferentes locais e momentos, como no local já havia touceiras da espécie *Bambusa tuldoides* não foi necessário deslocamento para essa coleta, já o *Phyllostachys aurea* teve de ser coletado no município de Vassouras, no Rio de Janeiro, na Fazenda Santa Mônica e o *Dendrocalamus giganteus* pôde ser coletado no Jardim Botânico do município do Rio de Janeiro.

As varas coletadas nesta etapa serviram tanto para a pesquisa quanto para a construção do galpão.

Para nível de pesquisa trabalhou-se com varas não tratadas, porém as varas utilizadas na construção receberão tratamento, para aumentar a durabilidade da estrutura evitando o aparecimento de fungos, brocas, absorção de umidade, entre outros problemas.

#### 4.3.2. Mensuração de diâmetros

Foram mensurados os diâmetros internos e externos das varas coletadas de cada espécie. As varas foram selecionadas aleatoriamente e, no centro de cada internódio foram tomadas medições de diâmetro externo e interno. Foram amostradas 15% das varas existentes respeitando um mínimo de 10 varas. Para a espécie *Phyllostachys aurea* foram medidas 15 varas, para o *Bambusa tuldoides* foram medidas 10 varas, assim como para o *Dendrocalamus giganteus*.

A medição do diâmetro externo se deu com o auxílio de um paquímetro digital, apoiando o bambu sobre dois cavaletes e tomando a medição de forma perpendicular a linha do horizonte. Para a tomada dos diâmetros internos foi feito um furo com uma broca no centro do internódio, no mesmo local onde foi medido o diâmetro externo, permitindo a entrada da guia do paquímetro no furo (Figura 13). A tomada dos diâmetros se deu da base para o topo. Com a medida registrada na entrada da guia do paquímetro (L) e o valor do diâmetro externo (D), foi possível obter o valor aproximado da espessura da parede do bambu (e) e consequentemente o valor do diâmetro interno. Desta forma:

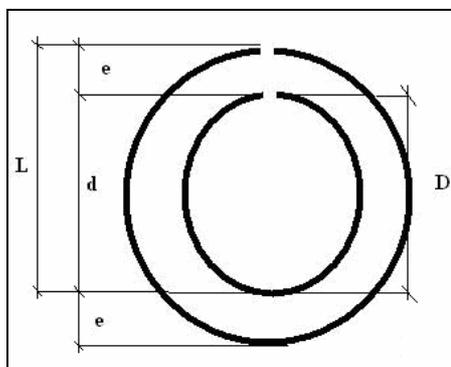
$$e = D - L$$
$$d = D - 2e, \text{ onde:}$$

e é a espessura da parede

L é a leitura da entrada da guia do paquímetro

D é o diâmetro externo

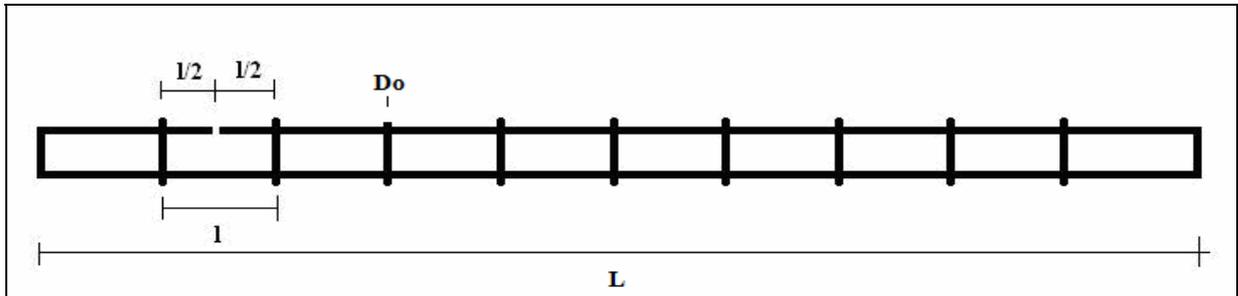
d é o diâmetro interno



**Figura 13.** Tomada de diâmetros interno(d), diâmetro externo (D) e espessura da parede (e).

Com os valores de diâmetro externo e interno aproximado, foi possível estabelecer uma relação entre os mesmos, gerando uma equação que permite a estimativa do diâmetro interno através do diâmetro externo, que será usada posteriormente na obtenção de outros parâmetros de cálculo.

Além dos diâmetros foram medidos também o comprimento de cada internódio ( $l$ ), comprimento da vara ( $L$ ) e o diâmetro nos nós ( $D_o$ ), como mostra a Figura 14.



**Figura 14.** Medição do comprimento da vara ( $L$ ), do comprimento dos internódios ( $l$ ) e do diâmetro dos nós ( $D_o$ ).

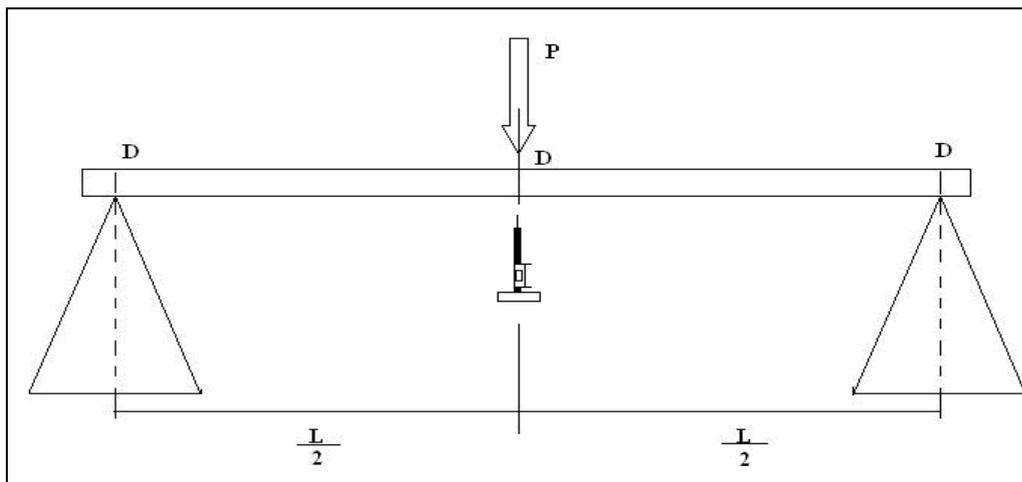
#### 4.3.3. Módulo de elasticidade na flexão

Para determinação desta propriedade foram selecionadas as varas menos tortuosas, para que não houvesse influência nos resultados finais. As amostras foram de 20% do total de varas, trabalhando com um mínimo de 20 varas. Para este teste não foi necessária a confecção de corpos-de-prova. As varas selecionadas tiveram seus comprimentos medidos, para que pudesse ser estabelecido um mesmo vão para cada espécie. Sendo assim, determinou-se que o vão livre seria de 3,0 m para *Phyllostachys aurea*, 3,5 m para *Bambusa tuldoidea* e 4,0m para *Dendrocalamus giganteus*.

Ao apoiar a vara nos cavaletes na distância predeterminada foram medidos 3 diâmetros externos: dois nos apoios e um no centro do vão. Todas as varas foram identificadas caso houvesse necessidade de verificação futura.

O teste foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (Contenco), de forma que, no centro do vão livre fosse aplicada uma carga crescente que gerasse deformações registradas por um paquímetro digital colocado na direção da aplicação da carga abaixo do bambu. Conforme a carga era aplicada o bambu flexionava em direção ao paquímetro que media o valor da flecha, os valores das cargas e suas respectivas deformações foram anotados em uma planilha de dados.

Como cada espécie testada possuía uma característica física diferente da outra, os valores das cargas aplicadas foram distintos, para *Dendrocalamus giganteus* foi utilizada célula de carga de 30 toneladas e para *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoidea* foi utilizada célula de carga de 10 toneladas, já que estas espécies têm menor seção transversal. A Figura 15 ilustra este momento, onde  $P$  é a carga aplicada pela máquina de ensaio,  $D$  são os diâmetros das extremidades e do centro e  $L/2$  é o centro do vão.



**Figura 15.** Método para registrar a deformação do bambu na flexão.

Com a relação de carga e deformação, valor médio dos diâmetros externos e internos estimados, que permitiu o cálculo da inércia, foi possível obter o valor médio de módulo de elasticidade de cada vara, e a partir daí a média para cada espécie.

Desta forma:

$$I = \frac{\pi(D_m - d_m)^4}{64} \text{ e } E = \frac{PL^3}{48I\delta}, \text{ onde:}$$

$I$  é a inércia

$D_m$  é o valor médio dos diâmetros externos

$d_m$  é o valor médio estimado dos diâmetros internos

$P$  é a carga aplicada associada a uma deformação  $\delta$

$E$  é o módulo de elasticidade

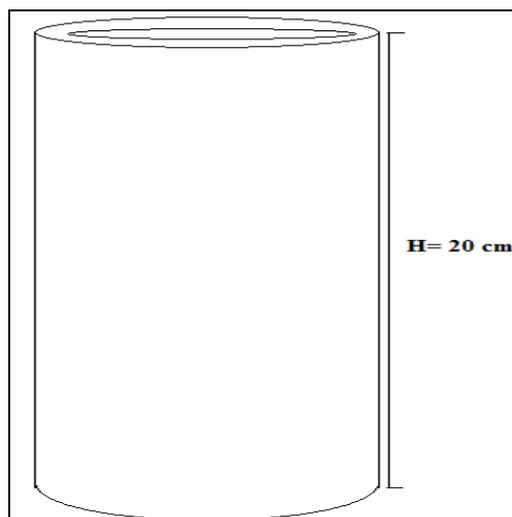
$L$  é o vão livre

#### 4.3.4. Módulo de elasticidade na compressão

Para os todos os ensaios subseqüentes de rigidez e resistência foram selecionadas seis varas de cada espécie, baseado nos resultados do teste de módulo de elasticidade na flexão, amostrando-se duas varas de módulo de elasticidade baixo, duas varas de módulo de elasticidade médio e duas varas de módulo de elasticidade alto. Com as varas amostradas foram confeccionados corpos-de-prova para todos os ensaios mecânicos, buscando obter o máximo de amostras possível.

Antes da realização dos ensaios foram confeccionados os corpos corpo-de-prova referentes a cada teste. Feito isso cada um foi pesado e medido o diâmetro, a espessura de parede e o comprimento, para sua utilização nos futuros cálculos.

Neste ensaio, foram retirados no mínimo 2 amostras por vara, cada amostra com 20 cm de comprimento, independente do diâmetro do bambu. Como mostra a Figura 16. No total foram retirados das varas de *Phyllostyachs aurea* 14 corpos-de-prova, sendo 10 com nó, e das varas de *Bambusa tuldoides* 12 corpos-de-prova, onde 6 possuíam nó, para este teste.



**Figura 16.** Corpo-de-prova para o ensaio de módulo de elasticidade na compressão.

Todos os corpos-de-prova receberam identificação e tiveram suas faces niveladas e lixadas para garantir que ficassem lisas e paralelas. Logo após serem confeccionadas, as amostras foram levadas para a climatização, onde permaneceram por duas semanas, quando foram pesadas e ensaiadas.

O ensaio se deu através de uma Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (Contenco). Para registrar as deformações do bambu foi acoplado ao corpo de prova um relógio com escala em milímetros. A carga foi aplicada de forma contínua, acompanhando a leitura no relógio, para cada deformação pré-determinada foi feita a leitura da respectiva carga.

O módulo de elasticidade é resultado da expressão:

$$E = \frac{\left( \frac{N_2 - N_1}{\text{área}} \right)}{\left( \frac{\text{def}_2 - \text{def}_1}{152} \right)}, \text{ onde:}$$

$N_1$  é a carga referente à deformação em um primeiro momento

$N_2$  é a carga referente à deformação em um segundo momento

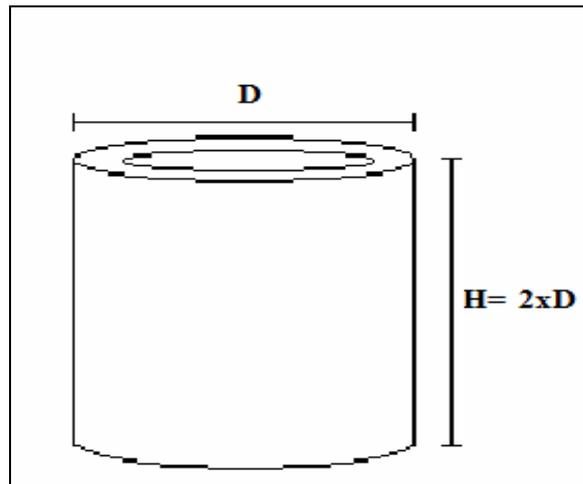
$\text{def}_1$  é a deformação referente ao primeiro carregamento

$\text{def}_2$  é a deformação referente ao segundo carregamento

152 é a distância vertical, em milímetros, entre os parafusos que fixaram o relógio ao corpo-de-prova

#### **4.3.5. Resistência à compressão**

Para a realização deste teste foram confeccionadas amostras de acordo com a metodologia de Culzoni (1986), onde a altura do corpo-de-prova é duas vezes o diâmetro do mesmo (Figura 17), retirando no mínimo de 2 corpos-de-prova por vara.



**Figura 17.** Dimensões do corpo-de-prova para o ensaio de resistência à compressão.

Mas, como a intenção era obter o máximo de amostras possível, houve casos em que o corpo-de-prova possuía nó, mas a maioria era livre de nó. Para a espécie *Phyllostachys aurea* havia no total 46 amostras, onde 13 tinham nó, para *Bambusa tuldoides* 29 amostras sendo que, 5 possuíam nó e para *Dendrocalamus giganteus* o total de amostras foi de 14, sendo que apenas 4 possuíam nó.

Depois de cortadas com a serra, as amostras foram lixadas de forma a tentar fazer com que as duas faces do corpo ficassem paralelas. Todas receberam uma identificação esclarecendo a que vara pertencia, o nome do ensaio que a amostra iria sofrer e o número da amostra.

Feito isso, as amostras foram levadas para uma sala de climatização, e lá permaneceram durante duas semanas. Passado este tempo, as amostras foram pesadas e ensaiadas na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos. Para o ensaio de compressão das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* foi utilizada a célula de carga de 10 toneladas, no ensaio de *Dendrocalamus giganteus* foi necessária uma célula de 30 toneladas. Os corpos-de-prova foram submetidos a cargas crescentes até a ruptura, sendo registrada a carga máxima.

De posse do valor da carga de ruptura e da área de cada corpo-de-prova foi possível calcular o limite de resistência. E como a média da espécie adotou-se a média dos resultados obtidos.

$$f_c = \frac{Nm_{\max}}{\text{Área}}, \text{ sendo que:}$$

$$\text{Área} = \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4}, \text{ onde:}$$

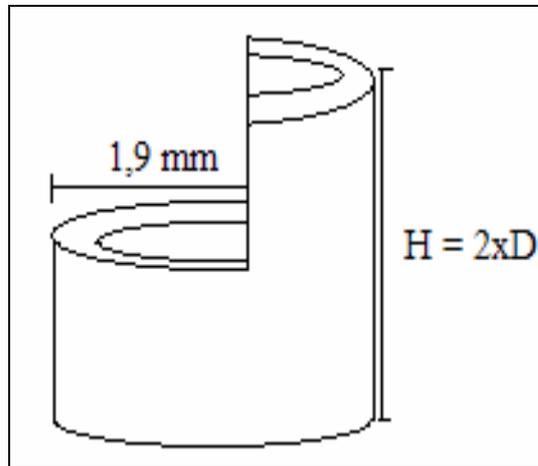
$D$  é o diâmetro externo do corpo-de-prova

$d$  é o diâmetro interno do corpo-de-prova

$N_{\max}$  é a carga de ruptura do material

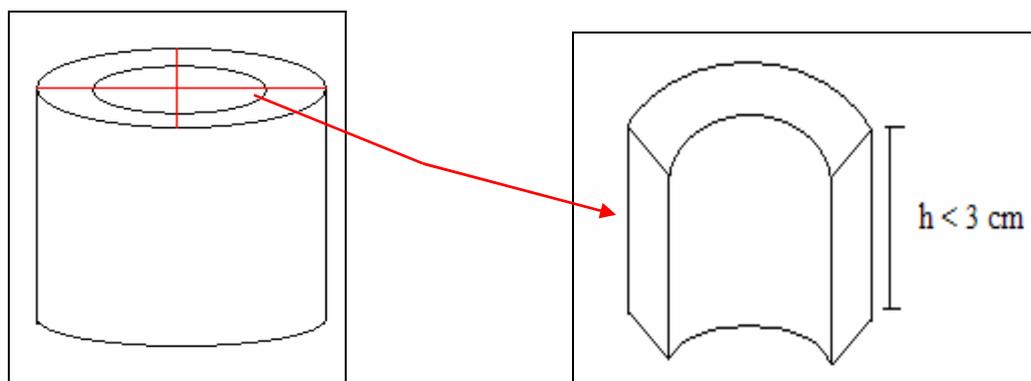
#### 4.3.6. Resistência ao cisalhamento

No ensaio de cisalhamento das espécies *P. aurea* e *B. tuldoides* foram confeccionados corpos-de-prova de acordo com a Figura 18, onde a altura é duas vezes o diâmetro. Retirou-se no mínimo 2 corpos-de-prova por vara amostrada. A abertura feita no corpo-de-prova de 1,9 mm é para o encaixe da guilhotina, que possui esta espessura. No total foram ensaiadas 29 e 22 amostras para cada espécie, sendo 8 e 4 com nó, respectivamente.



**Figura 18.** Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento para *B. tuldoides* e *P. aurea*.

Já para o *Dendrocalamus giganteus* não foi possível confeccionar amostras deste tipo, pois esta espécie possui valores de diâmetros muito altos, portanto não caberiam no dispositivo de cisalhamento. Sendo assim foram retirados 4 corpos-de-prova de uma mesma amostra, que foram posteriormente cortados com altura inferior a 3 cm, para evitar que o corpo-de-prova deslizasse sobre o dispositivo com o incremento da carga, como mostra a Figura 19. No total foram ensaiados 25 corpos-de-prova, nenhum com nó.



**Figura 19.** Corpo de prova para ensaio de cisalhamento do *D. giganteus*.

Uma vez confeccionados os corpos-de-prova foram levados para a sala de climatização para serem ensaiados posteriormente.

O teste foi realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos utilizando-se uma célula de carga de 2 toneladas. O incremento de carga se deu até a ruptura do material, registrando-se a carga máxima. O limite de resistência ao cisalhamento foi calculado com base na área cisalhante, que variou conforme as duas metodologias adotadas.

Para *P. áurea* e *B. tuldoides* o limite de resistência foi calculado da seguinte forma:

$$f_v = \frac{N_{rupt}}{\text{Área}}, \text{ onde:}$$

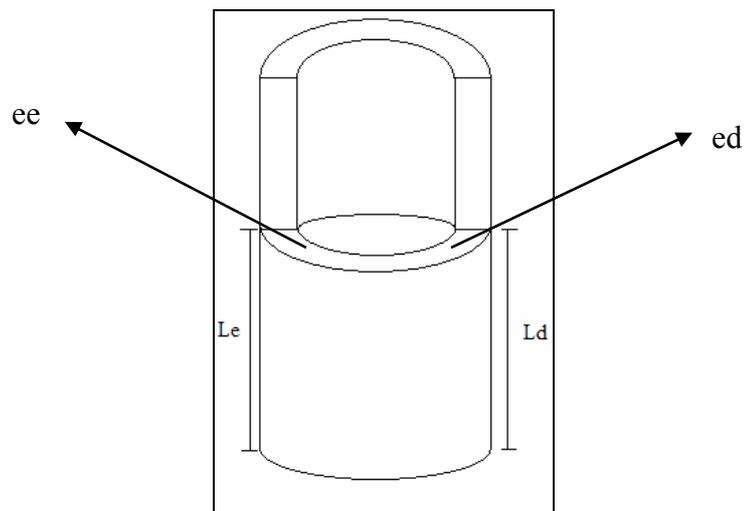
$$\text{Área} = (L_e e_e) + (L_d e_d), \text{ no qual:}$$

$e_e$  é a espessura da parede do lado esquerdo do corpo-de-prova (Figura 20)

$e_d$  é a espessura da parede do lado direito do corpo-de-prova

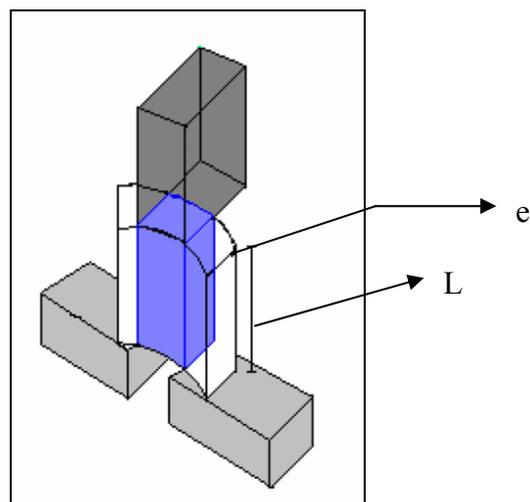
$L_d$  é o comprimento do lado direito do corpo-de-prova

$L_e$  é o comprimento do lado esquerdo do corpo-de-prova



**Figura 20.** Medidas retiradas do corpo-de-prova de cisalhamento de *P. áurea* e *B.tuldoides*.

Para *D. giganteus* as medições se deram da seguinte forma:



**Figura 21.** Medidas retiradas do corpo-de-prova de cisalhamento de *D. giganteus*.

O limite de resistência no cisalhamento para o *D. giganteus* foi calculado da mesma forma que a anterior:

$$ft = \frac{N_{rupt}}{\text{Área}}$$

Porém, o cálculo da área é diferente:

$$\text{Área} = 2(eL), \text{ onde:}$$

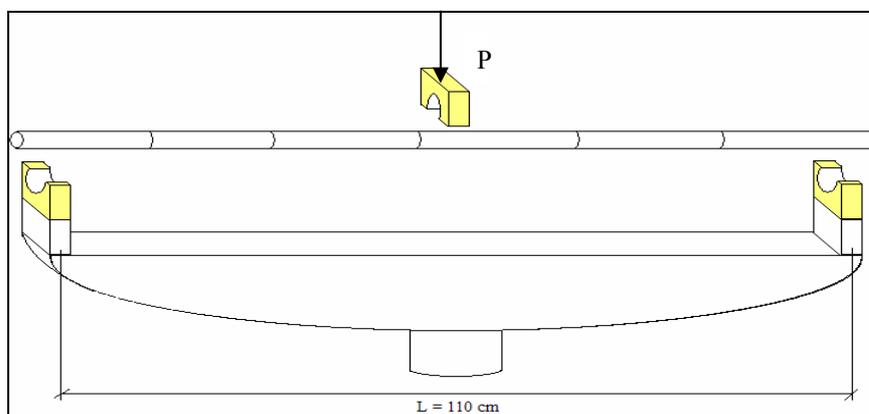
*e* é a espessura do bambu

*L* é o comprimento do corpo-de-prova

O resultado final foi considerado como a média dos valores encontrados entre os corpos testados para cada espécie.

#### 4.3.7. Resistência à flexão

Os corpos-de-prova utilizados neste teste tinham 1,20 m, já que o vão livre máximo permitido pela Máquina Universal de Ensaios Mecânicos era de 1,10 m. Como a tecnologia utilizada não é indicada para ensaios em bambus para a realização deste teste tornou-se necessária a criação de um sistema de adaptação para aumentar a área de contato do bambu com os apoios e a carga aplicada, diminuindo desta forma a tensão e evitando que o bambu rompesse antes do tempo. Na Figura 22 estão ilustrados os suportes, confeccionados com madeira de *Pinus* sp., com formato circular no meio para permitir o apoio do bambu. A espécie *Dendrocalamus giganteus* não pode ser testada, pois seu alto valor de diâmetro não permitiu a adaptação das ferramentas utilizadas.



**Figura 22.** Esquema para o ensaio de resistência à flexão.

Antes da realização do teste foram mensurados os diâmetro externos do bambu nos apoios e no ponto de aplicação da carga. Os diâmetros internos foram estimados através da relação diâmetro externo e diâmetro interno encontrada neste trabalho para as duas espécies. Foram avaliados 6 corpos-de-prova para cada espécie.

O ensaio se deu de forma que o bambu ficasse apoiado nos suportes de madeira. O incremento de carga se deu no centro do vão livre, através de uma célula de carga de 2

toneladas, também apoiada no suporte de madeira, até a ruptura do material testado registrando-se carga máxima.

O limite de resistência foi considerado como a média dos resultados e pode ser encontrado através da fórmula:

$$f_b = \frac{M_{m\acute{a}x}}{I} \left( \frac{D}{2} \right), \text{ onde:}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{PL}{4} \quad \text{e} \quad I = \frac{(D^4 - d^4)\pi}{64}, \text{ nos quais:}$$

$M_{m\acute{a}x}$  é o momento fletor máximo

$P$  é a carga pontual aplicada no centro do vão

$L$  é o vão do teste

$I$  é a inércia da seção transversal

$D$  é o diâmetro externo médio do bambu

$d$  é o diâmetro interno médio estimado

#### **4.4. Projeto Estrutural**

##### **4.4.1. Propriedades mecânicas das espécies**

Foram reunidas as informações resultantes deste trabalho, referentes às propriedades mecânicas das espécies para serem utilizadas como parâmetros de cálculo e para as propriedades não exploradas neste trabalho tomou-se como base dados da literatura consultada.

##### **4.4.2. Propriedades físicas das espécies**

Com o projeto arquitetônico estabelecido e escolhidas as espécies era necessário definir as dimensões das peças a serem utilizadas na estrutura. Com algumas varas já coletadas e os dados da bibliografia foi definido o diâmetro das peças que comporiam a estrutura. Apesar da escolha, as dimensões deveriam ser avaliadas em cálculos estruturais, de forma a confirmar a viabilidade de utilização das mesmas no presente projeto.

##### **4.4.3. Cargas na estrutura**

Para a realização dos cálculos estruturais foi crucial a verificação das cargas atuantes na estrutura como: vento, peso da cobertura e cargas da própria estrutura. Para tal fez-se o somatório do peso de todos os componentes do telhado, a carga da cobertura (sapê) e a carga acidental (vento).

$Carga\ total = \Sigma\ cargas\ da\ estrutura + carga\ acidental + carga\ da\ cobertura$ , onde:

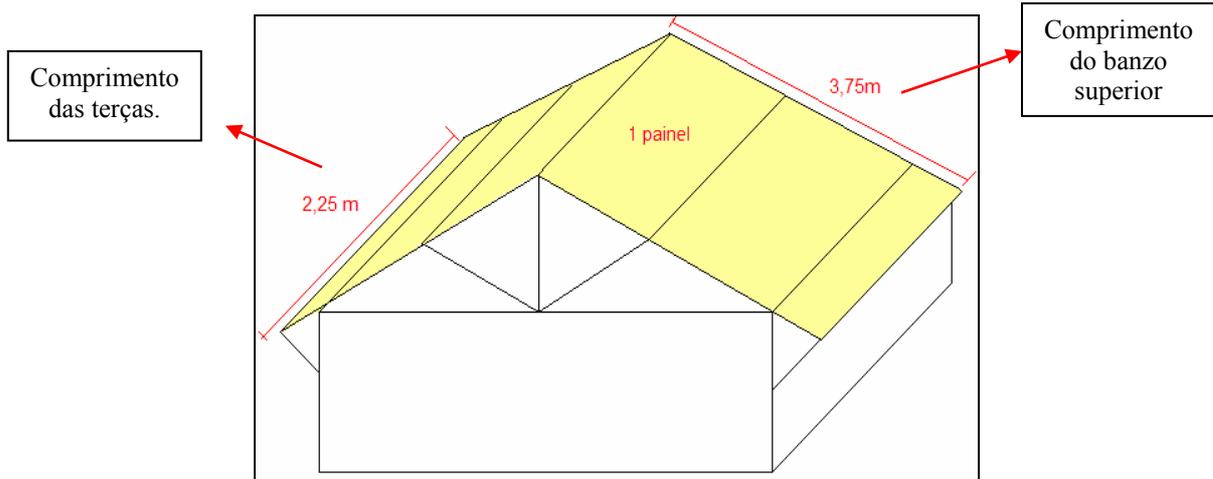
$\Sigma\ cargas\ da\ estrutura = peso\ das\ terças + peso\ dos\ caibros + peso\ das\ ripas + pesos\ das\ peças\ da\ treliça\ (tesouras)$

O somatório acima estima apenas a carga da estrutura, porém variáveis como a carga do vento e a carga da cobertura são estimadas por m<sup>2</sup>, portanto deve-se extrapolar este valor para o painel formado por duas treliças.

$$\sum \text{cargas/m}^2 = \text{carga do vento/m}^2 + \text{carga da cobertura/m}^2$$

A área de um painel (Figura 23) formado por duas treliças do galpão é de:

$$\text{Área painel} = (\text{comprimento das terças} \times \text{comprimento do banzo superior}) \times 2$$



**Figura 23.** Esquema do painel formado por duas treliças.

Como cada treliça será sustentada por duas colunas, a carga nas mesmas pôde ser calculada dividindo-se a carga total por dois.

$$\text{Carga na coluna} = \frac{\sum \text{cargas}}{2}$$

Em relação ao telhado o mesmo será sustentado por treliças, portanto, as barras que a compõem também estarão expostas a esforços. Tais esforços foram estimados com o uso do método de Cremona, que fornece o valor e tipo de solicitação para cada barra da treliça.

As cargas que atuarão nas peças que compõem o telhado em si, como as ripas, caibros e terças, foram encontradas da seguinte maneira:

-Para as terças:

$$\text{Carga distribuída ao longo da terça (kgf/m)} = \text{carga na terça} / \text{comprimento da terça},$$

onde:

$$\text{Carga na terça (kgf)} = \text{carga distribuída no painel} \times \text{área de responsabilidade de 1 terça},$$

onde:

$$\text{Carga distribuída no painel (kgf/m}^2) = \text{carga total} / \text{área 1 painel formado por duas treliças}$$

*Área de responsabilidade de 1 terça (m<sup>2</sup>) = comprimento das terças x distância entre as terças*

- Para os caibros:

*Carga distribuída ao longo do caibro (kgf/m) = carga no caibro / comprimento do caibro, onde:*

*Carga no caibro (kgf) = carga distribuída no painel x área de responsabilidade de 1 caibro, onde:*

*Carga distribuída no painel (kgf/m<sup>2</sup>) = carga total / área 1 painel formado por duas treliças*

*Área de responsabilidade de 1 caibro (m<sup>2</sup>) = comprimento do caibro x distância entre os caibros*

- Para as ripas:

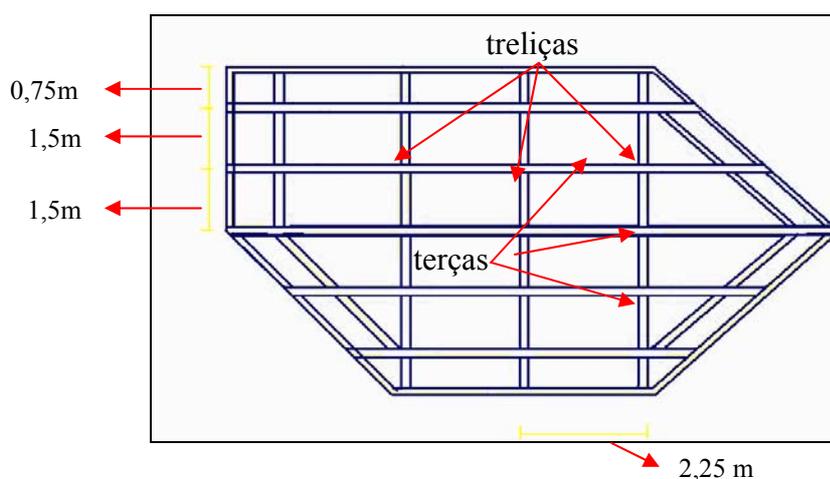
*Carga distribuída ao longo da ripa (kgf/m) = carga no ripa / comprimento da ripa, onde:*

*Carga na ripa (kgf) = carga distribuída no painel x área de responsabilidade de 1 ripa, onde:*

*Carga distribuída no painel (kgf/m<sup>2</sup>) = carga total / área 1 painel formado por duas treliças*

*Área de responsabilidade de 1 ripa (m<sup>2</sup>) = comprimento da ripa x distância entre as ripas*

A Figura 24 mostra um esquema geral do telhado onde pode-se observar a distância entre as terças e a distância entre as treliças, que é equivalente ao tamanho dos caibros.



**Figura 24.** Esquema geral do telhado.

#### 4.4.4. Verificação dos critérios de dimensionamento

Uma vez encontrado tipo e o valor das solicitações cada peça da estrutura teve de ser avaliada estruturalmente, uma vez que materiais sólidos tendem a se deformar, ou até romper quando submetidos a solicitações mecânicas. Portanto, o estudo do comportamento de elementos construtivos deste projeto é necessário para que possam ser adequadamente dimensionados de forma a suportarem as condições previstas de utilização.

Algumas dimensões como o comprimento e diâmetro das peças ficaram definidas no projeto arquitetônico, porém é necessário verificar se as dimensões escolhidas são suficientes para suportar as tensões e devem-se levar em conta os critérios de dimensionamento para construção.

Devido ao fato de não haver uma norma específica para dimensionamento de estruturas feitas de bambu o presente trabalho foi baseado nas normas da ABNT para construções com madeira.

As peças da estrutura foram separadas, apenas em nível de cálculo, de acordo com o tipo de solicitação sofrida. Assim puderam ser agrupadas por critérios de dimensionamento.

- Elementos comprimidos:

A compressão é um tipo de tensão que ao atuar em um determinado elemento estrutural tende a diminuir as suas dimensões. A tensão de compressão em um determinado elemento é função da carga aplicada, da área da seção transversal da peça e do tamanho da peça, visto que em elementos comprimidos pode ocorrer o fenômeno de flambagem que pode ser gerado por uma carga excêntrica ou pela esbeltez excessiva do elemento. Portanto, ao avaliar um elemento comprimido a esbeltez deve ser estudada, buscando identificar a possibilidade de problemas futuros na peça. A verificação da esbeltez se dá da seguinte maneira:

$$\lambda = \frac{lfl}{i}, \text{ no qual:}$$

$\lambda$  é o índice de esbeltez da peça

$lfl$  é o comprimento de flambagem, que varia de acordo com o modo como a peça está fixada  
 $i$  é o raio de giração, que por sua vez é a relação entre o momento de inércia da seção transversal e a própria área transversal. É calculado por:

$$i = \sqrt{\frac{I_{menor}}{A}}, \text{ onde:}$$

$I$  é a inércia da seção transversal

$A$  é a área da seção transversal

Uma vez calculado o índice de esbeltez das peças comprimidas deve-se avaliar o risco do elemento sofrer flambagem, esforço de compressão em uma barra de seção transversal pequena em relação ao comprimento, que tende a produzir uma curvatura na barra. Isto é feito estabelecendo-se uma comparação, caso a esbeltez seja menor que 40, pode-se afirmar que a peça não corre o risco de sofrer flambagem. Porém, caso o valor calculado ultrapasse 40 existem dois riscos, o primeiro é o risco de sofrer flambagem plástica e o segundo, e mais crítico de todos, é o risco de sofrer flambagem elástica. O risco do fenômeno

de flambagem pode não impossibilitar o uso da peça nas dimensões definidas, mas irá acarretar na redução da tensão admissível da peça em questão.

$$\text{Se } 40 < \lambda < \lambda_c, \text{ então: } \overline{\sigma}_{fl} = \overline{\sigma}_c \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda - 40}{\lambda_c - 40} \right) \right]$$

$$\text{Se } \lambda < \lambda_c < 140, \text{ então: } \overline{\sigma}_{fl} = \overline{\sigma}_c \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda_c}{\lambda} \right)$$

Onde:

$\lambda$  é o índice de esbeltez calculado

$\lambda_c$  é o índice de esbeltez crítico do material

$\overline{\sigma}_{fl}$  é a tensão admissível à flambagem

$\overline{\sigma}_c$  é a tensão admissível à compressão

Mas se apesar da redução da tensão admissível a tensão efetiva na peça ( $\sigma_c \leq \overline{\sigma}_c$ ) ainda se mostrar inferior, pode-se considerar a estrutura segura já que o risco já terá sido considerado.

-Elementos tracionados:

A tensão de tração tende a provocar um alongamento do elemento na direção da aplicação da carga. No caso dos elementos tracionados não há nenhum fenômeno decorrente de excentricidades, o único aspecto a ser avaliado é a comparação entre a tensão efetiva e a tensão admissível do material ( $\sigma_t \leq \overline{\sigma}_t$ ).

- Elementos que trabalham na flexão:

As peças avaliadas nesta etapa sofrem diversos tipos de tensão, são elas: tensão de flexão, tensão de cisalhamento, flecha e tensão de compressão normal nos apoios.

A tensão de flexão tende a provocar uma deformação perpendicular ao eixo da aplicação da carga, a flecha. No caso a tensão efetiva de flexão em uma peça é função do momento fletor, do módulo de resistência, que está relacionada a inércia do elemento, e da seção transversal do elemento. O momento fletor tende a gerar um movimento de rotação na peça em consequência da aplicação de uma carga em uma peça com um determinado vão livre. A tensão de flexão calculada pela fórmula abaixo deve ser menor do que a tensão admissível do material ( $\sigma_b \leq \overline{\sigma}_b$ ).

$$\sigma_b = \frac{M_{\text{máx}} D}{I} \frac{1}{2}, \text{ onde:}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{wL^2}{8} \text{ e } I = \pi \frac{(D^4 - d^4)}{64}, \text{ no qual:}$$

$M_{\text{máx}}$  é o momento fletor máximo

$w$  é a carga distribuída na peça

$L$  é o vão da peça

$I$  é a inércia da peça

$D$  é o diâmetro externo

A deformação gerada pelo carregamento da peça não pode ultrapassar o valor máximo admissível, para tanto foi estimado o valor da flecha efetiva das peças que trabalham na flexão e comparada com a flecha admissível ( $\delta \leq \bar{\delta}$ ). Para tal utilizou-se da fórmula abaixo:

$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI}, \text{ onde:}$$

$$I = \pi \frac{(D^4 - d^4)}{64}$$

$w$  é o valor da carga distribuída ao longo da peça

$L$  é o tamanho do vão livre

$E$  é o módulo de elasticidade

$I$  é a inércia da seção transversal

Outro aspecto importante é a tensão de cisalhamento longitudinal. A tensão de cisalhamento é resultado de forças atuantes que tendem a produzir um efeito de corte, isto é, um deslocamento linear entre seções transversais. A tensão efetiva de cisalhamento foi calculada através da fórmula indicada abaixo e comparada com a tensão admissível a este esforço ( $\tau \leq \bar{\tau}$ ).

$$\tau = \frac{VS}{Id}, \text{ onde:}$$

$$V = \frac{wL}{2}, S = \frac{(D^3 - d^3)}{8} \pi \text{ e } I = \pi \frac{(D^4 - d^4)}{64}$$

$V$  é a força cortante

$S$  é o momento estático

$I$  é o momento inércia

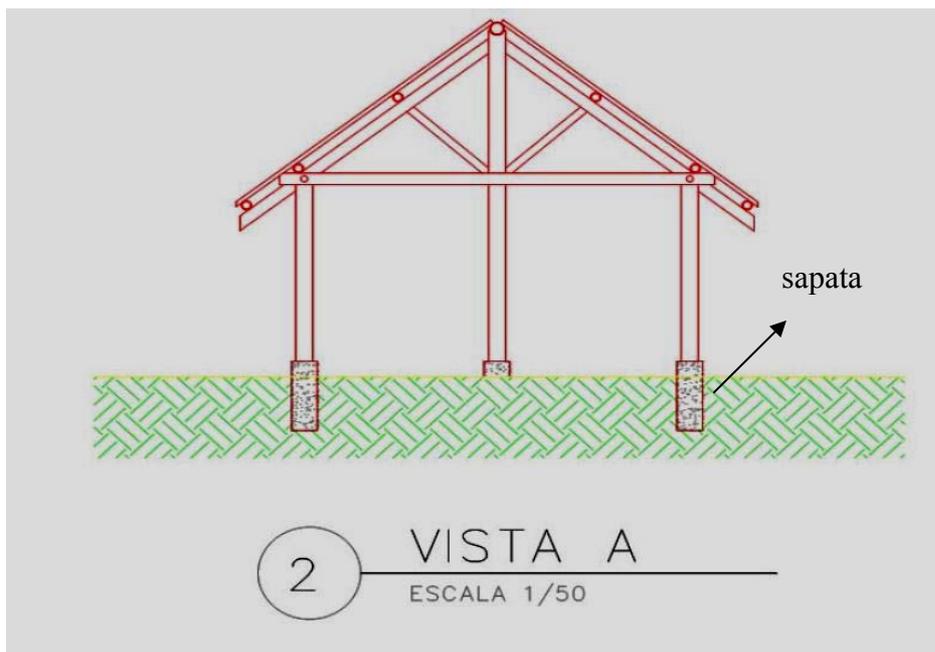
$d$  é o diâmetro da peça

Nesta etapa foram utilizados os valores de tensões admissíveis encontrados na literatura juntamente com os valores resultantes deste trabalho para cada espécie, que comparados com o efetivo do projeto teve que respeitar os critérios acima estabelecidos. Avaliando e sendo respeitado estes critérios pode-se considerar a estrutura seguramente dimensionada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

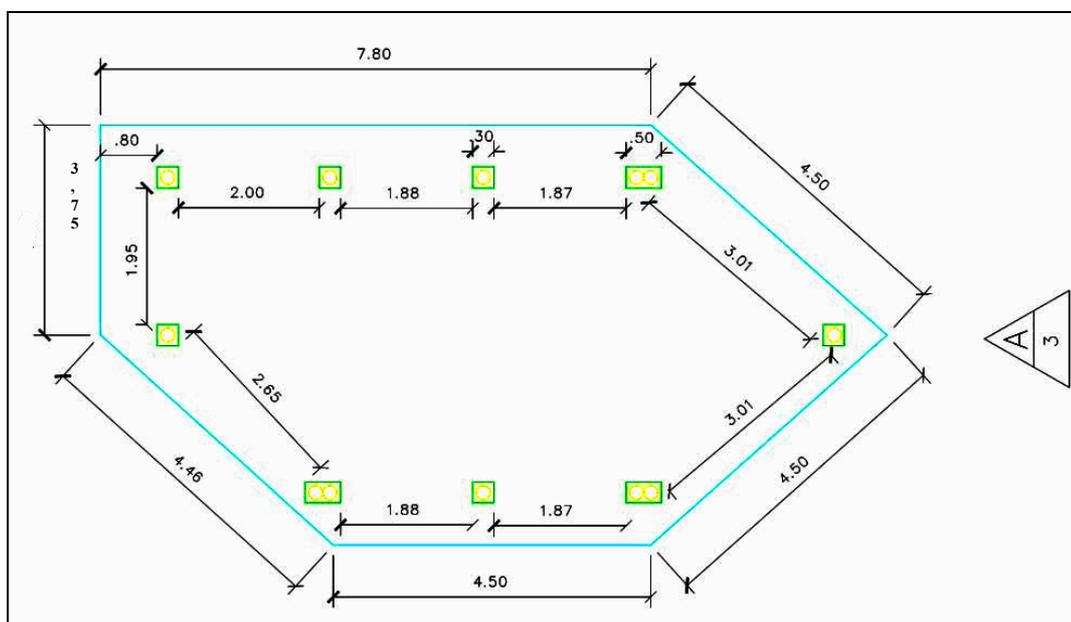
### 5.1. Projeto Arquitetônico

A Figura 25 mostra a vista de acesso ao galpão, onde pode ser observado a estrutura treliçada sustentando o telhado e as sapatas que dão o suporte às colunas de sustentação e evitarão o contato dos bambus com a umidade do solo.



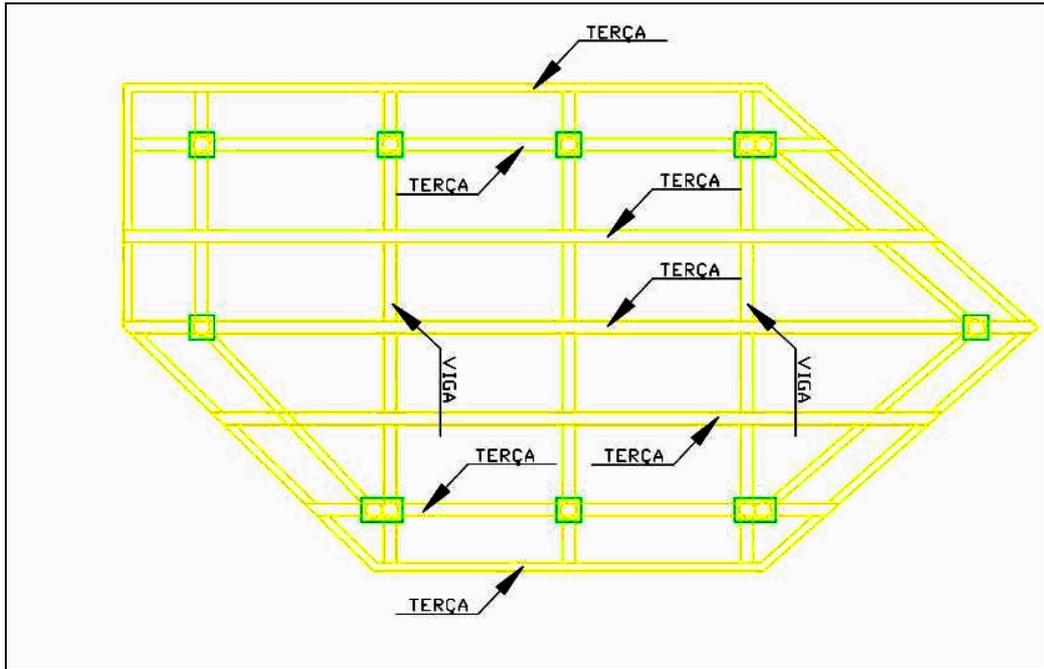
**Figura 25.** Vista frontal do galpão.

Na Figura 25 temos a vista superior do galpão, onde estão cotadas as distâncias e pode-se observar o número de colunas de sustentação que serão utilizadas.



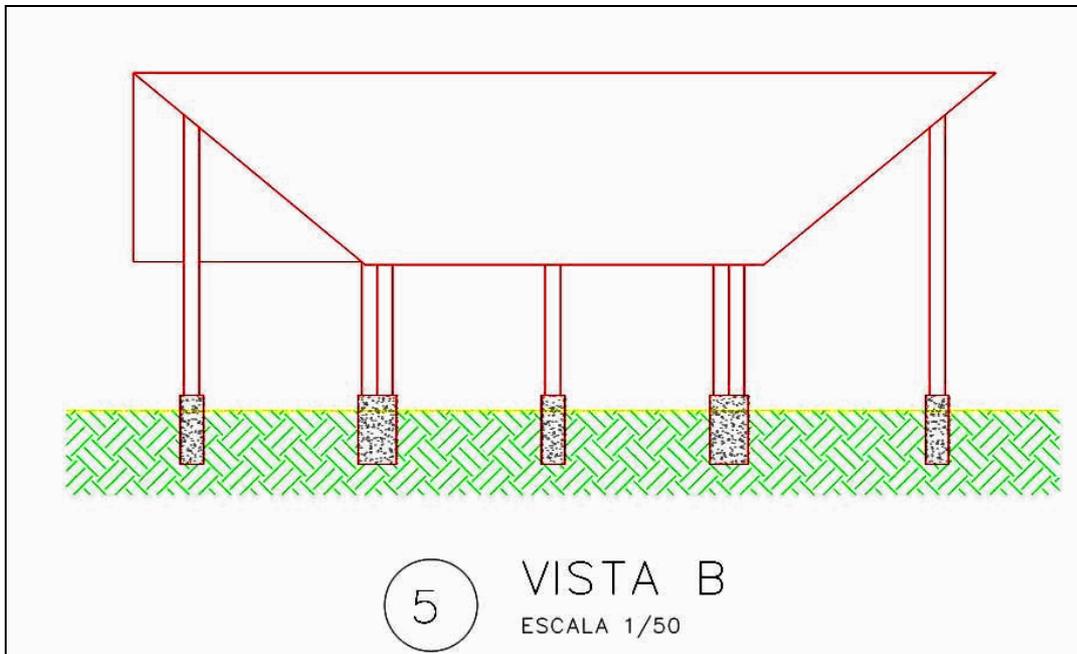
**Figura 26.** Planta baixa do galpão.

A Figura 27 mostra a mesma vista anterior, porém detalhando somente as terças e as treliças que sustentarão o telhado, vistas de cima.



**Figura 27.** Detalhamento das terças e caibros do telhado do galpão.

A vista lateral do centro pode ser observada na Figura 28, onde pode ser observado que o telhado formará uma diagonal com a coluna, deixando uma aba exposta.



**Figura 28.** Vista lateral do centro de visitantes.

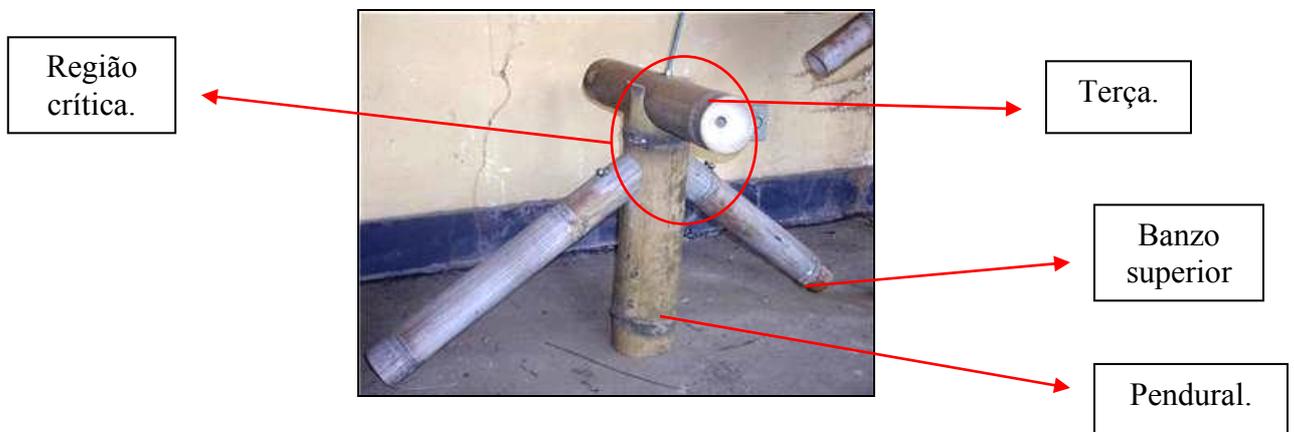
## 5.2. Estudo de Conexões

A Figura 29 mostra a foto do protótipo que representa a junção do tirante com o banzo superior onde será apoiada uma das terças do telhado. Na região em destaque pelo círculo podem ocorrer problemas como esmagamento, por isso foi feito o protótipo, para avaliar qual a melhor maneira de executar esta emenda. No protótipo foram usados parafusos para unir as peças.



**Figura 29.** Protótipo da junção do banzo superior com o tirante e a terça.

Outra região crítica da construção é a junção do pendural, onde está apoiada outra terça, com o banzo superior. A Figura 30 dá uma idéia de como será feito.



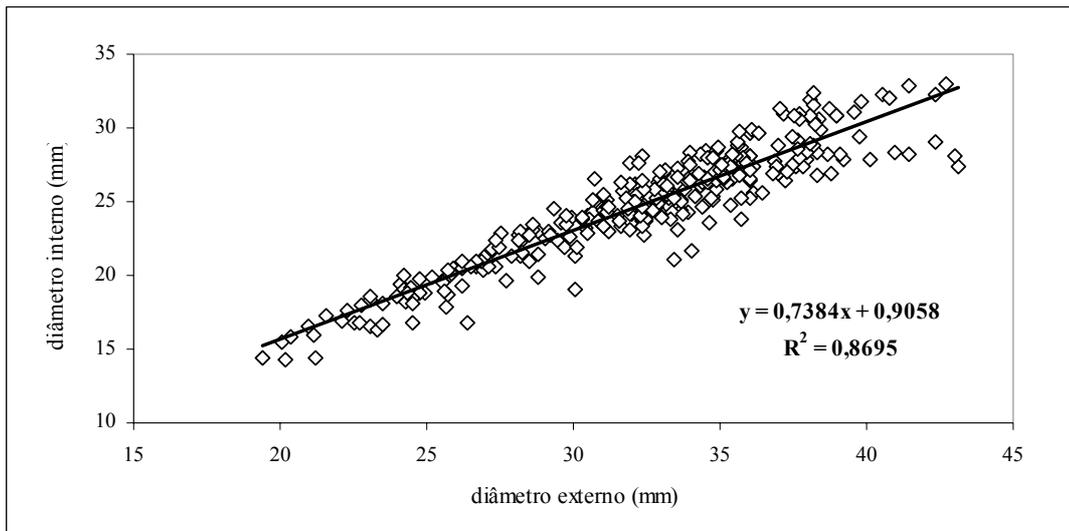
**Figura 30.** Protótipo da junção do banzo superior com o pendural.

### 5.3. Estudo de Propriedades Geométricas e Mecânicas das Espécies

#### 5.3.1. Mensuração dos diâmetros

Para a espécie *Phyllostachys aurea* o valor médio de diâmetro externo das varas amostradas foi de 3,22 cm, atingindo um máximo de 4,31 cm e mínimo de 1,93 cm. Já o diâmetro interno apresentou uma média de 2,46 cm, com valor máximo de 3,29 cm e mínimo de 1,43 cm. A espessura da parede apresentou média de 0,376 cm, atingindo um máximo de 0,785 cm e um mínimo de 0,207 cm.

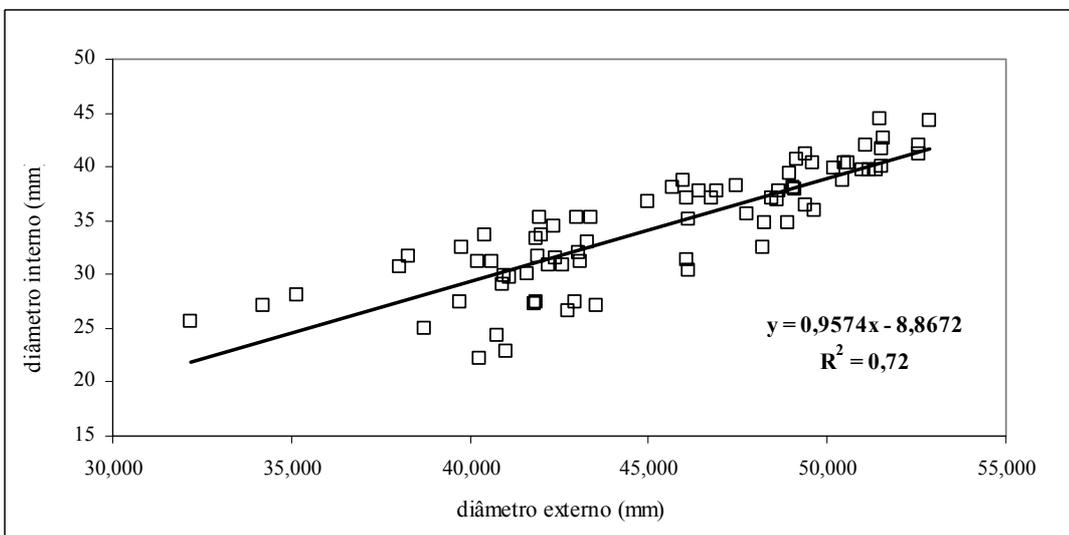
A Figura 31 abaixo mostra a relação entre os diâmetros externo e interno do *Phyllostachys áurea*, esta espécie foi a que apresentou maior linearidade nesta relação.



**Figura 31.** Relação entre os diâmetros externo e interno em *Phyllostachys aurea*

No caso do *Bambusa tuldoides* os valores encontrados foram um pouco maiores em relação à espécie anterior. O diâmetro externo apresentou média de 4,52 cm e valores máximo de 5,28 cm e mínimo de 3,21 cm. Em relação ao diâmetro interno o valor médio foi de 3,44 cm, o máximo de 4,44 cm e mínimo de 2,22 cm. Para a espessura da parede foi encontrado valor médio de 0,515 cm, um valor máximo de 0,901 cm e mínimo de 0,325 cm.

Na Figura 32 tem-se a relação entre diâmetro externo e interno em *Bambusa tuldoides*.

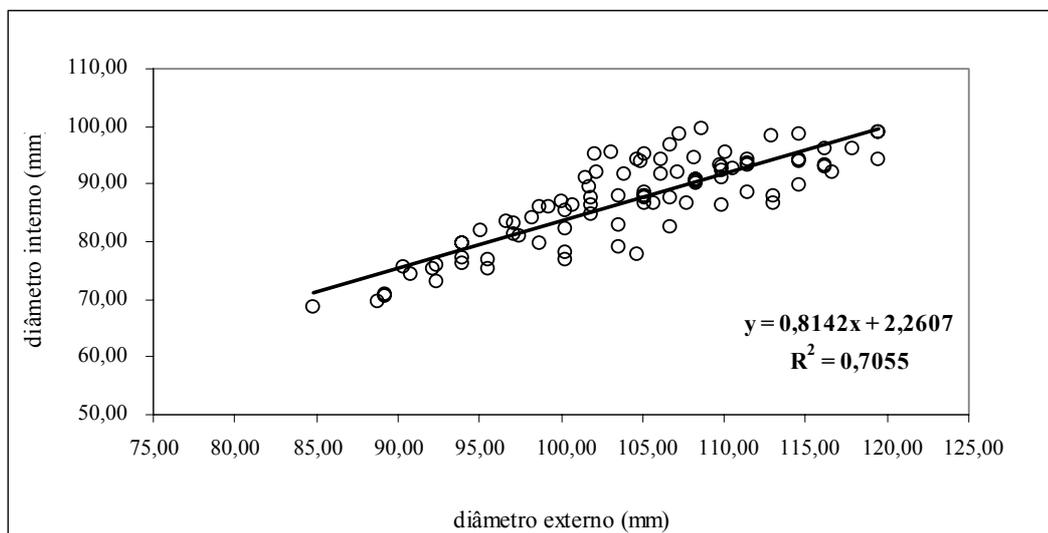


**Figura 32.** Relação entre os diâmetros externo e interno em *Bambusa tuldoides*.

A espécie *Dendrocalamus giganteus*, como era de se esperar foi a que apresentou as maiores médias dentre as espécies. O diâmetro externo variou de 8,47 cm a 11,94 cm, apresentando uma média de 10,43 cm. Os valores de diâmetro interno variaram de 6,85 cm a 9,96 cm, a média foi de 8,72 cm. Os valores de diâmetros citados por outros autores, como Nascimento (1990), divergem um pouco dos resultados encontrados neste trabalho, o que

pode ser origem das diferenças entre as metodologias adotadas. Mas de uma forma geral, os resultados estão dentro do esperado. A espessura da parede teve média de 0,856 cm, o valor máximo encontrado foi de 1,346 cm e mínimo de 0,348 cm.

Ainda avaliando a relação entre diâmetros externos e internos, o comportamento do *Dendrocalamus giganteus* neste aspecto pode ser observado no Figura 33.



**Figura 33.** Relação entre diâmetros externo e interno em *Dendrocalamus giganteus*.

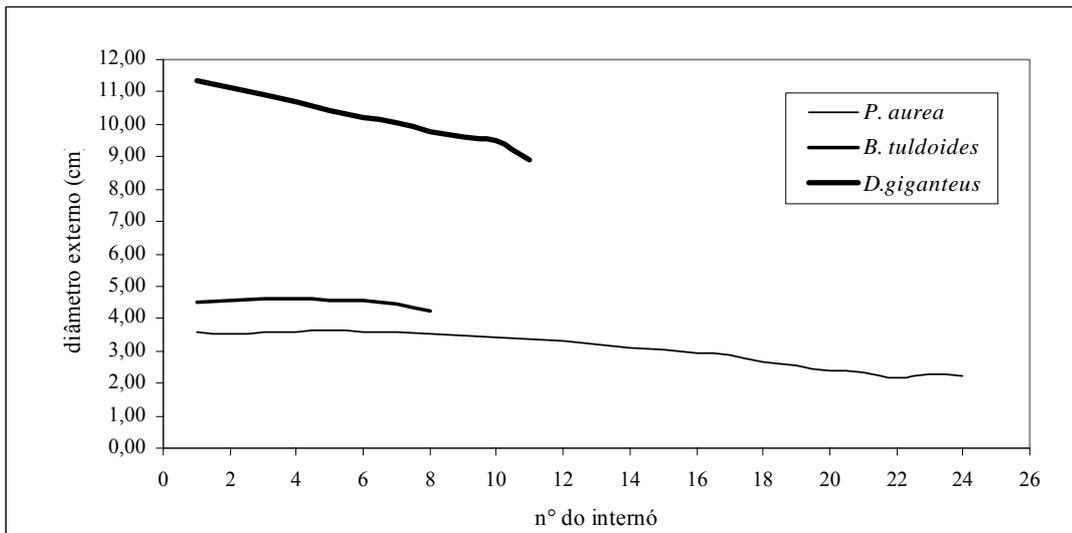
Dentre as espécies esta foi a que apresentou a relação menos linear entre os diâmetros externos e internos.

Outro aspecto avaliado foi a influência do aumento do comprimento da vara nos diâmetros externo e interno, e na espessura da parede dos bambus. Dentro deste contexto o Figura 34 mostra a relação entre o diâmetro externo e o aumento do comprimento da vara, visto que os internós foram numerados da base para o topo, para *P. áurea*, *B. tuldoides* e *D.giganteus*.

Nota-se que, para o *Phylloatachys aurea* o diâmetro externo até o meio da vara se manteve com poucas variações a partir deste ponto os valores começam a cair de forma mais perceptiva com o aumento do comprimento.

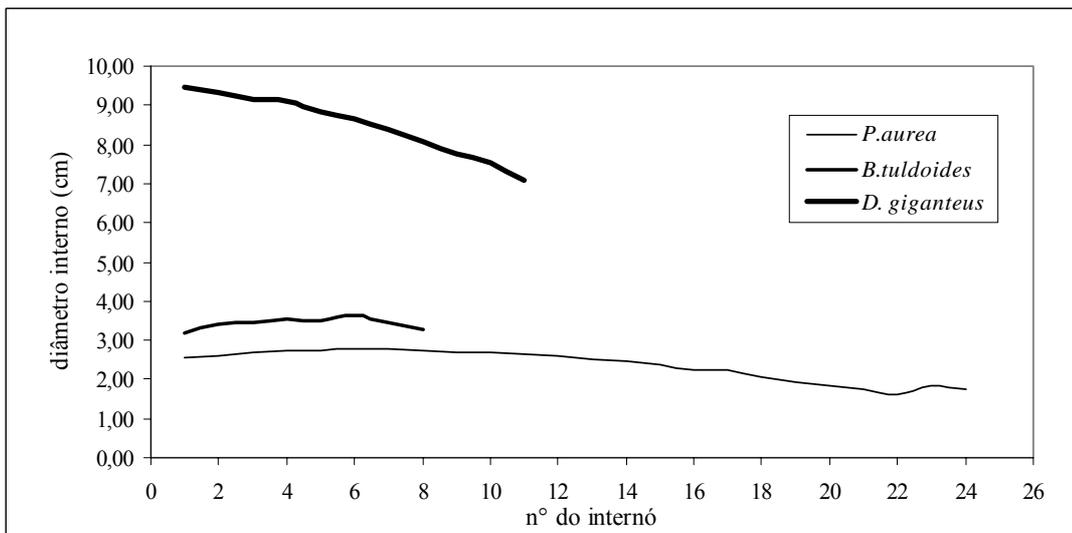
No *Bambusa tuldoides* o comportamento é excêntrico, o diâmetro externo não segue uma tendência, o que se observa é que até aproximadamente metade da vara o diâmetro aumenta e a partir daí segue diminuindo, até que ao final ocorre uma notável redução em seu valor.

Para o *Dendrocalamus giganteus* a relação entre o aumento no comprimento da vara com a diminuição do diâmetro externo se mostrou quase que perfeitamente linear.



**Figura 34.** Relação entre o nº do internó e o diâmetro externo das varas de *P. áurea*, *B.tuldoides* e *D. giganteus*.

Com relação ao comportamento do diâmetro interno a Figura 35 mostra como ele se deu para cada espécie.



**Figura 35.** Relação entre o nº do internó e o diâmetro interno em *P. áurea*, *B. tuldoides* e *D. giganteus*.

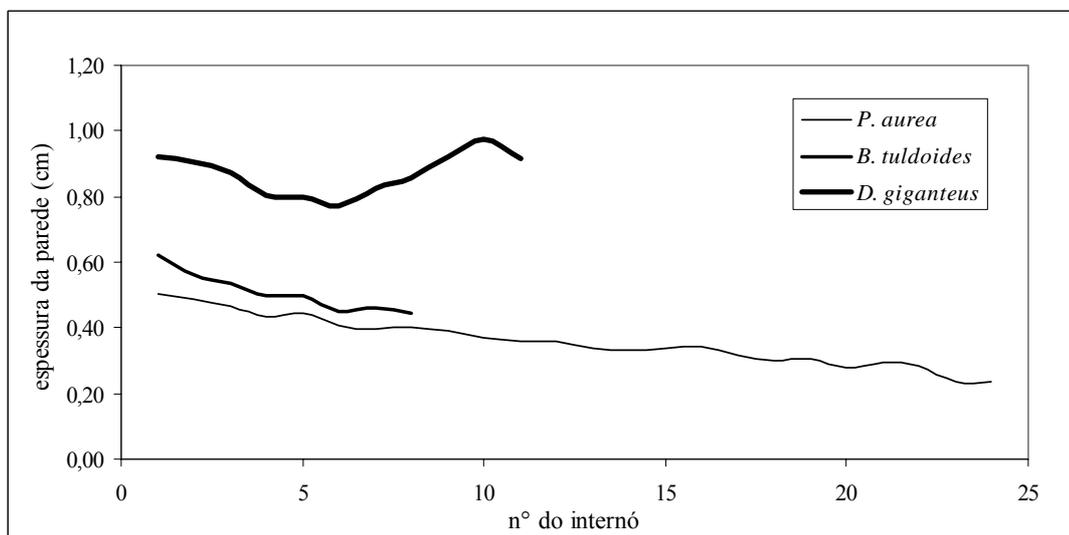
Para o *Phyllostachys aurea* esta relação se mostrou similar à relação do aumento do comprimento da vara com o diâmetro externo.

O comportamento excêntrico da espécie *Bambusa tuldoides* se repete em relação ao diâmetro interno, oscilando ainda mais neste caso.

E para *Dendrocalamus giganteus* a linearidade da relação é vista mais uma vez para o diâmetro interno.

Também foi avaliada a resposta da espessura da parede dos bambus ao aumento do comprimento das varas. A Figura 36 abaixo mostra o comportamento das espécies perante essa avaliação.

Em *P. aurea* houve pequenas oscilações nos valores da espessura da parede ao longo da vara, mas pode-se observar que ela acompanha a diminuição dos diâmetros vistos nos gráficos anteriores.



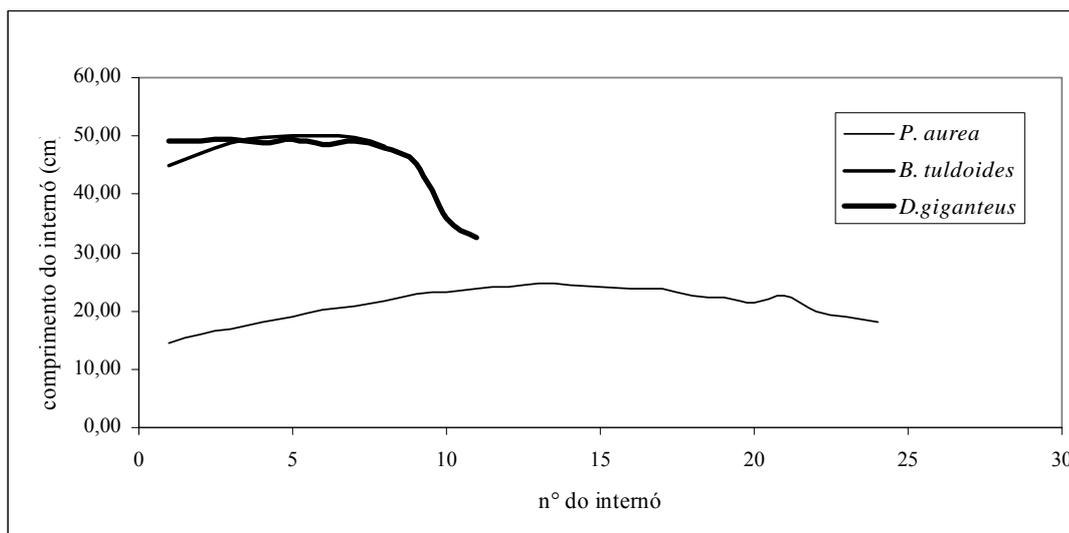
**Figura 36.** Relação entre o nº do internó e a espessura da parede em *P. áurea*, *B. tuldoides* e *D. giganteus*.

No *Bambusa tuldoides* há uma oscilação um pouco maior da espessura, mas, também nota-se a sua diminuição com o aumento do comprimento da vara.

O *Dendrocalamus giganteus* foi o que apresentou o comportamento mais oscilante. Os valores da espessura da parede começam diminuindo, até chegar ao meio da vara onde começam a aumentar e novamente no último internó eles voltam a diminuir.

Ghavami & Marinho (citado por CRUZ, 2002) estudaram características físicas de colmos inteiros de algumas espécies de bambu, e constataram que os diâmetros tendem a diminuir ao longo do comprimento do colmo, afirmando que o mesmo ocorre com a espessura da parede, porém com maiores oscilações.

A variação do comprimento do internó também foi avaliada neste estudo, e apesar das varas não representarem um colmo inteiro do bambu pôde-se observar que o aumento do comprimento do internó se dá a partir do meio da vara, decaindo ao chegar ao final (Figura 37).



**Figura 37.** Relação nº do internó e comprimento do internó para *P. áurea*, *B. tuldoides* e *D. giganteus*.

### 5.3.2. Módulo de elasticidade na flexão

O *Dendrocalamus giganteus* teve a menor média, o valor foi de 17,6 GPa. O valor mínimo encontrado foi de 8,4 GPa e máximo de 25,8 GPa.

Para o *Bambusa tuldoides* foi encontrado valor médio de 23,4 GPa. O valor mínimo foi de 14,2 GPa e o máximo de 45,3 GPa.

A espécie *Phyllostachys aurea* apresentou o maior valor médio de módulo de elasticidade dentre as espécies estudadas, equivalente a 27,5 GPa. Os resultados oscilaram entre 17,0 GPa e 44,9 GPa. Valores bem altos quando comparados com os de espécies florestais como o *Eucalyptus saligna* 11,8 GPa ou o jatobá (*Hymenaea stilbocarpa*) 16,2 MPa.

A Tabela 11 mostra os resultados encontrados.

**Tabela 11.** Módulo de elasticidade na flexão para *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus Giganteus*.

Módulo de elasticidade na flexão	<i>P. aurea</i>	<i>B. tuldoides</i>	<i>D. giganteus</i>
MOE mínimo (GPa)	17,0	14,2	8,4
MOE máximo (GPa)	44,9	45,3	25,8
MOE médio (GPa)	27,5	23,4	17,6

### 5.3.3. Módulo de elasticidade na compressão

A Tabela 12 mostra os valores de módulo de elasticidade na compressão para cada espécie estudada. Nota-se que *Bambusa tuldoides* apresentou maior média, 16,3 GPa, em relação à espécie *Phyllostachys áurea*, com 13,2 GPa.

**Tabela 12.** Módulo de elasticidade na compressão para *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldooides*.

Módulo de elasticidade na compressão	<i>P. aurea</i>	<i>B. tuldooides</i>
MOE mínimo (GPa)	8,4	12,8
MOE máximo (GPa)	17,5	20,1
MOE médio (GPa)	13,2	16,3

#### 5.3.4. Resistência à compressão

O valor médio de resistência à compressão para a espécie *Phyllostachys aurea* foi de 53,6 MPa, para *Bambusa tuldooides* foi de 48,7 MPa. Para *Dendrocalamus giganteus* o valor médio de resistência à compressão foi de 53,23MPa. Valores próximos aos encontrados em madeiras de *Eucalyptus citriodora*, 62,7 MPa; e *Eucalyptus saligna*, 49,2 MPa.

Levando em conta o método de obtenção dos corpos-de-rova é válido analisar a influência da presença dos nós na resistência do bambu, visto que também foram retiradas amostras com nó. Ao separar os resultados obtidos em relação à presença de nós (Tabela 13), nota-se que as amostras livres de nó apresentam maiores valores de resistência à compressão em detrimento àquelas que possuem nó. Em *Bambusa tuldooides*, o aumento da resistência foi de 2% sem a presença do nó. Para *Phyllostachys aurea* a mudança é de 5,52% e para *Dendrocalamus giganteus* o aumento na resistência é de 8,71% .

**Tabela 13.** Valores médios de resistência à compressão (em MPa) em amostras com e sem nó.

Espécie	com nó	sem nó	média	diferença(%)
<i>Bambusa tuldooides</i>	54,1	55,2	54,6	2
<i>Phyllostachys aurea</i>	48,5	51,3	49,9	5,52
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	44,7	48,9	46,8	8,71

#### 5.3.5. Resistência ao cisalhamento

Os resultados do ensaio de resistência à cisalhamento deram valores próximos para as espécies *P. aurea* que apresentou média de 2,4 MPa, para *B. tuldooides* com média de 2,3 MPa, já para *D. giganteus* a média foi de 8,5 MPa. A Tabela 14 mostra um quadro completo com os valores encontrados. Os resultados podem ser considerados baixos quando comparados com dados de madeiras de *Eucalyptus saligna* 9,2 Mpa; e *Eucalyptus citriodora* 16 MPa. Uma provável razão para estes valores é o fato do bambu não apresentar células de raio, o que diminui a sua resistência ao cisalhamento.

**Tabela 14.** Valores de resistência ao cisalhamento para as espécies *P. aurea*, *B. tuldooides* e *D. giganteus*.

Resistência ao cisalhamento	<i>P. aurea</i>	<i>B. tuldooides</i>	<i>D. giganteus</i>
Valor mínimo (MPa)	1,6	2,1	2,7
Valor máximo (MPa)	3,4	2,8	12,0
Valor médio (MPa)	2,4	2,3	8,5

### 5.3.6. Resistência à flexão

O limite de resistência à flexão foi mais alto para *Phyllostachys aurea*, com média de 95,2 MPa, o *Bambusa tuldoides* apresentou valor médio de 88,9 MPa. Os resultados encontram-se próximos aos de madeira de *Eucalyptus saligna*, 101 Mpa; e *Eucalyptus citriodora*, 121 MPa.

Durante o ensaio pôde-se observar que apesar de romper com cargas mais baixas, varas de *P. áurea* se flexionavam mais do que as amostras de *B. tuldoides*. A Tabela 15 mostra um resumo dos resultados encontrados.

**Tabela 15.** Valores de resistência à flexão para *P. aurea* e *B. tuldoides*.

Resistência à flexão	<i>P. aurea</i>	<i>B. tuldoides</i>
Valor mínimo (MPa)	72,5	78,2
Valor máximo (MPa)	117,7	106,8
Valor médio (MPa)	95,2	88,9

## 5.4. Projeto Estrutural

### 5.4.1. Propriedades mecânicas das espécies

As informações obtidas neste trabalho juntamente com as reunidas na literatura a respeito do comportamento mecânico de cada espécie utilizada, estão reunidas nas Tabelas 16 e 17, onde encontram-se valores de resistência e rigidez, respectivamente. Na Tabela 19 tem-se o quadro completo do levantamento bibliográfico.

Os valores admissíveis foram calculados considerando-se os coeficientes de segurança que levam em conta a qualidade do material, a duração da carga, a normalidade dos dados e o coeficiente de segurança propriamente dito. Adotou-se para o bambu os mesmos valores utilizados para a madeira, que para tensão de compressão é igual a 5, para cisalhamento é 8,68, para tensão flexão e tração é de 6,6.

**Tabela 16.** Resumo dos valores de resistência das espécies estudadas.

Propriedades	<i>Phyllostachys aurea</i>		<i>Bambusa tuldoides</i>		<i>Dendrocalamus giganteus</i>	
	Lr	Ta	Lr	Ta	Lr	Ta
Resistência à compressão (MPa)*	53,6	10,7	40,7	9,7	53,2	10,6
Resistência ao cisalhamento// (MPa)*	2,44	0,27	2,3	0,25	8,5	0,97
Resistência à flexão (MPa)*	88,9	13,5	95,2	14,4	-	-
Resistência à tração (MPa)**	209,9	31,3	117,3	17,5	138,6	20,7
Resistência ao cisalhamento transversal às fibras (MPa)**	45,4	6,8	45,2	6,7	-	-

\* Valores encontrados neste estudo, onde Lr é limite de resistência e Ta é tensão admissível.

\*\* Valores encontrados na literatura.

**Tabela 17.** Resultados encontrados referentes às propriedades de rigidez das espécies.

Propriedades	<i>Phyllostachys aurea</i>		<i>Bambusa tuldoides</i>		<i>Dendrocalamus giganteus</i>	
	Vm	Vc	Vm	Vc	Vm	Vc
MOE – flexão (GPa)*	27,5	15,4	23,4	13,1	17,6	98,5
MOE – compressão (GPa)*	13,2	7,4	16,3	9,1	-	-
MOE – tração (GPa)**	18,9	10,8	10,6	5,9	15,4	8,6

\* Valores encontrados neste estudo, onde Vm é o valor médio e Vc é o valor característico.

\*\* Valores encontrados na literatura.

Nota-se que os valores de resistência são maiores na tensão de tração, devido ao fato da orientação das fibras ser paralela ao eixo do colmo, fazendo com que o bambu resista mais à tração do que à compressão. O módulo de elasticidade varia em função da posição do colmo, sendo maior nos nós por apresentarem maior concentração de sílica (Liese, citado por CRUZ, 2002).

#### 5.4.2. Características físicas das peças utilizadas

O bambu diferente da madeira, não pode ser moldado em dimensões exatas já que é oco o que em relação à madeira torna o dimensionamento mais complicado. Portanto, neste projeto trabalhou-se com os valores médios de diâmetros, encontrados em varas previamente coletadas, para verificação da estabilidade estrutural da construção. No caso do *D. giganteus* há diferenças no diâmetro das peças visto que há partes no telhado que demandam peças com diâmetro menor e outras com diâmetro maior.

**Tabela 18.** Dados das peças utilizadas na construção.

Espécie	*D (cm)	d (cm)	I (cm <sup>4</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	i (cm)	volume (cm <sup>3</sup> /m)	peso (kgf/m)
<i>D. giganteus</i>	15	12	1.467,18	63,62	4,80	6.361,74	4,39
<i>D. giganteus</i>	13	11	683,30	37,70	4,26	3.769,92	2,60
<i>D. giganteus</i>	8	6,5	113,44	17,08	2,58	1.708,25	1,18
<i>B. tuldoides</i>	5,5	4,2	29,64	9,90	1,73	990,39	0,68
<i>P. aurea</i>	3,3	2,6	3,58	3,24	1,05	324,37	0,22

\* D é o diâmetro externo; d é o diâmetro interno; I é a inércia da seção transversal; A é a área da seção transversal; i é o raio de giração.

Lembrando que todas as barras das treliças serão confeccionadas com varas da espécie *Dendrocalamus giganteus*, além das terças e das colunas de sustentação. As outras espécies comporão os caibros, que é o caso do *Bambusa tuldoides*, o *Phyllostachys aurea* entrará na confecção das ripas.

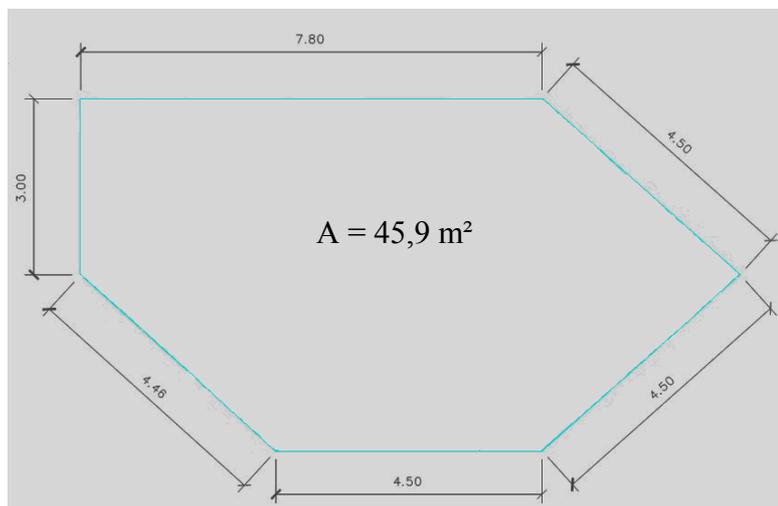
**Tabela 19.** Propriedades mecânicas de *Phyllostachys áurea*, *Bambusa tuldooides* e *Dendrocalamus giganteus* por diversos autores.

	<i>P.</i> <i>aurea</i>		<i>B.</i> <i>tuldooides</i>	<i>B.</i> <i>tuldooides</i>	<i>B.</i> <i>tuldooides</i>	<i>B.</i> <i>tuldooides</i>		<i>D.</i> <i>giganteus</i>	<i>D.</i> <i>giganteus</i>	<i>D.</i> <i>giganteus</i>	<i>D.</i> <i>giganteus</i>	<i>D.</i> <i>giganteus</i>	
<b>Propriedades mecânicas</b>	Cruz (2002)	* $\bar{X}$	Nascimento (2002)	Alves et al. (apud TEIXEIRA 2006)	Gonçalves (apud PEREIRA 2001)	Culzoni (1986)	$\bar{X}$	Lima Jr. et al. (apud LIMA JR. & DIAS 2001)	Lima Jr. et al (apud PEREIRA 2001)	Moreira (apud GHAVAMI & MARINHO 2002)	Ghavami (apud PEREIRA 2001)	Ghavami & Marinho (apud CRUZ 2002)	$\bar{X}$
Resistência à compressão (MPa)	70,9	<b>70,9</b>	75,4	41,8	34	34,05	<b>46,3</b>	57,32	77	-	42,25	-	<b>58,8</b>
Resistência à tração (MPa)	210	<b>210</b>	-	129,5	111	111,57	<b>117,3</b>	162,35	115	-	122,71	154,48	<b>138</b>
Resistência ao cisalhamento transversal (MPa)	45,4	<b>45,4</b>	-	-	54	54,5	<b>54,25</b>	-	-	-	-	-	-
Resistência ao cisalhamento// (MPa)	3,96	<b>3,96</b>	13,83	-	-	-	<b>13,83</b>	-	-	7,0	-	3,46	<b>5,2</b>
Resistência à flexão (MPa)	-	-	-	-	93	93,05	<b>93</b>	-	152	-	110,75	-	<b>131</b>
Módulo-compressão (GPa)	24,8	<b>24,8</b>	-	-	-	29,5	<b>29,5</b>	21,19	-	-	3,97	21,04	<b>15,4</b>
Módulo-tração (GPa)	18,9	<b>18,9</b>	-	-	-	10,60	<b>10,60</b>	18,44	11	-	13,10	18,95	<b>15,3</b>

\*  $\bar{X}$  valor médio.

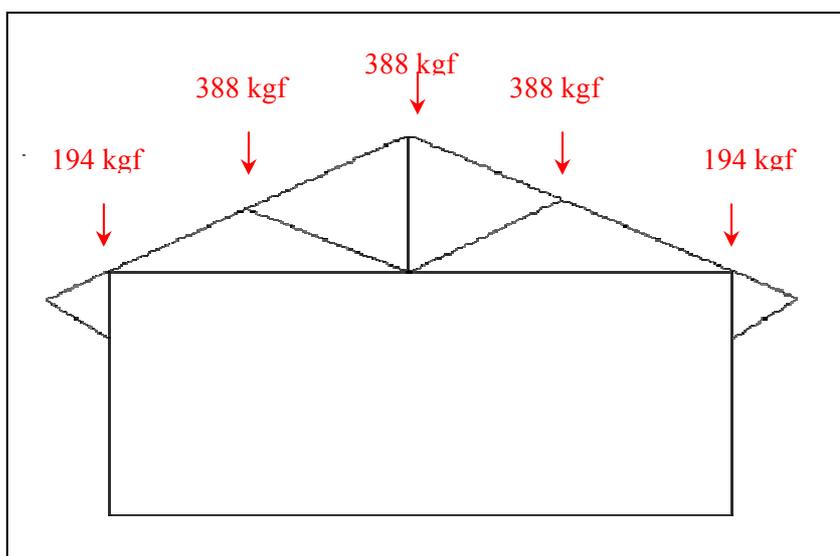
### 5.4.3. Cargas na estrutura

A área do total do telhado é de 45,9 m<sup>2</sup>, como mostra a Figura 38. Porém, estará sustentado por um conjunto de treliças, portanto o dimensionamento se deu com base no painel formado por duas treliças, que neste projeto é de 16,87 m<sup>2</sup>.



**Figura 38.** Área total do galpão.

As cargas que atuarão neste painel são as cargas do vento, do sapê (cobertura) e a carga do peso da própria estrutura, que somadas dão um total de 1550,625 kgf. Esta carga é distribuída para os cinco nós de intercessão da treliça com o telhado da forma como mostra a Figura 39.



**Figura 39.** Diagrama de forças na treliça.

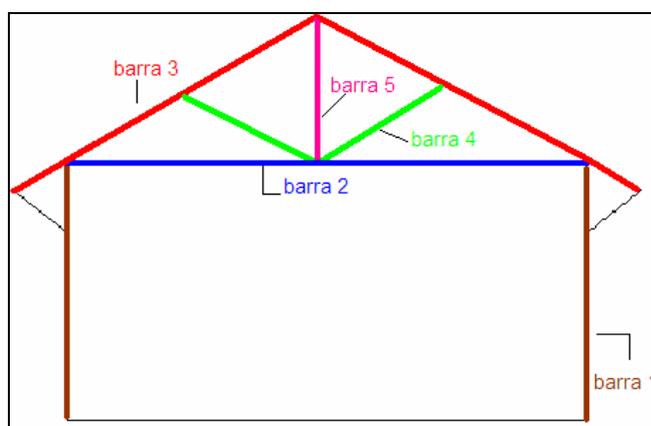
Com base neste diagrama de carregamento pôde ser feito a verificação do dimensionamento das peças que irão compor o galpão. O tamanho das peças está baseado no

projeto arquitetônico e as tensões admissíveis estão baseadas nos dados encontrados neste trabalho e nos dados bibliográficos.

O dimensionamento foi executado por partes. A primeira coisa a ser avaliada foi a composição da treliça e as colunas que a sustentam. Feito isso pôde-se dimensionar as barras do telhado: terças caibros e ripas. Simultaneamente a todos estes passos as barras foram separadas, para facilitar o entendimento, de acordo com a tensão à que estarão expostas.

#### 5.4.5. Cargas nas barras da treliça e nas colunas

Na Tabela 20 encontram-se os valores das cargas e o tipo de tensão sofrida em cada peça da treliça e nas colunas. Para ilustrar na Figura 40 têm-se as barras identificadas com números que permitem a sua identificação na tabela abaixo.



**Figura 40.** Esquema das barras da treliça e das colunas de sustentação.

**Tabela 20.** Solicitação e tipo de tensão sofrida nas barras da treliça e nas colunas, pelo método de Cremona:

Barra	Solicitação (kgf)	Tensão
1	776	compressão
2	730	tração
3	930	compressão
4	310	compressão
5	410	tração

#### 5.4.6. Dimensionamento das colunas e das barras da treliça.

Separando as peças de acordo com a tensão sofrida podemos sistematizar o dimensionamento, já que desta forma os critérios permanecerão os mesmos. Sendo assim, as barras comprimidas 1 (colunas de sustentação), 3 (banzo superior) e 4 (escora) tiveram seu dimensionamento verificado e os resultados encontram-se na Tabela 21. Todas as peças da treliça e as colunas serão confeccionadas com varas da espécie *D. giganteus*.

**Tabela 21.** Verificação do dimensionamento das colunas de sustentação e das barras comprimidas da treliça:

Peça	*L (m)	Lfl (cm)	D (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	$\lambda$	$\lambda_c$	$\overline{\sigma}_c$ (MPa)	$\overline{\sigma}_{fl}$ (MPa)	$N_{efetivo}$ (kgf)	$\overline{N}$ (kgf)	Situação
1	2,5	187,5	15	63	39	78,20	10,6	-	776	6839,91	$\overline{N} > N_{efetivo}$
3	3,75	150	8	17	58,21	78,20	10,6	8,9	930	1552,43	$\overline{N} > N_{efetivo}$
4	1,5	150	8	17	58,21	78,20	10,6	8,9	310	1552,43	$\overline{N} > N_{efetivo}$

\* L é o comprimento; Lfl é o comprimento de flambagem; D é o diâmetro externo;  $\lambda$  é o índice de esbelte;  $\lambda_c$  é o índice de esbelte crítico do material;  $\overline{\sigma}_c$  é a tensão admissível do material segundo a antiga norma ABNT; é  $\overline{\sigma}_{fl}$  a tensão admissível a flambagem;  $\overline{N}$  é a carga admissível da peça;  $N_{efetivo}$  é a efetiva carga na peça.

De acordo com os resultados apresentados na tabela acima pode-se observar que as barras 3 e 4 da treliça apresentaram risco de sofrer com o fenômeno de flambagem ( $\lambda > \lambda_c$ ). Portanto para esta situação a tensão admissível à compressão teve que ser recalculada. Felizmente o valor encontrado permitiu que as seções transversais escolhidas fossem suficientes para suportar o carregamento.

As barras nomeadas 2 e 5, que correspondem respectivamente ao tirante e ao pendural, sofrem tração e a verificação de seu dimensionamento encontra-se na Tabela 22.

**Tabela 22.** Verificação do dimensionamento da barras tracionadas da treliça:

Peça	*L (m)	D (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	$\overline{\sigma}_t$ (MPa)	$N_{efetivo}$ (kgf)	$\overline{N}$ (kgf)	Situação
2	4,6	13	37	20,7	730	7806,26	$\overline{N} > N_{efetivo}$
5	1,9	15	63	20,7	410	13291,74	$\overline{N} > N_{efetivo}$

\* L é o tamanho da peça; D é o diâmetro externo;  $\overline{\sigma}_t$  é a tensão admissível à tração segundo a antiga norma ABNT;  $\overline{N}$  é a carga admissível da peça;  $N_{efetivo}$  é a carga efetiva na peça.

Para as barras da treliça e para as colunas as dimensões escolhidas mostraram-se suficientes para suportar o carregamento previsto.

#### 5.4.7. Dimensionamento das peças do telhado

Todas as peças que compõem o telhado trabalham sob os mesmos tipos de tensões, portanto a verificação do dimensionamento pôde ser feita ao mesmo tempo para as terças, caibros e ripas. O que difere uma peça da outra além das dimensões é a espécie que compõe a peça.

A Tabela 23 mostra os dados necessários para a realização da análise estrutural das peças em questão.

**Tabela 23.** Dados das peças do telhado:

Peça	*L (m)	Espécie	D (cm)	d (cm)	Vão (cm)	Área equivalente (cm <sup>2</sup> )	Carga/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga/m (kgf/m)
Terça	2,25	<i>D. giganteus</i>	13	11	225	3,38	93	138
Caibro	3,75	<i>B. tuldoides</i>	5,5	4,2	150	0,60	93	37
Ripa	2,25	<i>P. aurea</i>	3,3	2,6	40	0,12	93	28

\* L é o comprimento da peça; D é o diâmetro externo; d é o diâmetro interno.

De posse destes dados foi possível verificar se as tensões efetivas nestas peças seriam menor que as tensões admissíveis. Os resultados obtidos foram separados por cada tipo de tensão que ocorre nestas peças, buscando a melhor compreensão do processo. Desta forma a Tabela 24 mostra a análise da tensão de flexão.

**Tabela 24.** Análise da tensão de flexão nas peças do telhado:

Peça	*M máx. (kgf.cm)	I (cm <sup>4</sup> )	W (cm <sup>3</sup> )	D/2	$\sigma_b$ (MPa)	$\overline{\sigma_b}$ (MPa)	Situação
Terça	8772	683,30	102,12	6,5	8,1	20,7	$\overline{\sigma_b} > \sigma_b$
Caibro	1034	29,64	10,78	2,75	9,4	14,4	$\overline{\sigma_b} > \sigma_b$
Ripa	55	3,58	2,17	1,65	2,5	13,5	$\overline{\sigma_b} > \sigma_b$

\*M máx é o momento fletor; I é a inércia; W é o módulo de resistência; D/2 é o raio;  $\sigma_b$  é a tensão efetiva de flexão na peça;  $\overline{\sigma_b}$  é a tensão admissível da peça.

A Tabela 25 mostra a avaliação da flecha e finalmente a Tabela 26 fecha com a análise da tensão cisalhante.

**Tabela 25.** Análise da flecha nas peças do telhado.

Peça	MOE (GPa)	I (cm <sup>4</sup> )	* $\delta_{efetiva}$ (cm)	$\overline{\delta}$ (cm)	Situação
Terça	17,6	683,30	0,38	1,13	$\overline{\delta} > \delta_{efetiva}$
Caibro	23,4	29,64	0,34	0,75	$\overline{\delta} > \delta_{efetiva}$
Ripa	27,5	3,58	0,01	0,2	$\overline{\delta} > \delta_{efetiva}$

\* MOE é o módulo de elasticidade; I é a inércia;  $\delta_{efetiva}$  é a flecha efetiva da peça;  $\overline{\delta}$  é a flecha admissível na peça segundo a antiga norma ABNT.

**Tabela 26.** Análise da tensão cisalhante nas peças do telhado.

Peça	V (kgf)	S (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	* $\tau$ (MPa)	* $\bar{\tau}$ (MPa)	** $\bar{\tau}$ (MPa)	Situação
Terça	155	340	683,30	0,6	1	2,3	$\bar{\tau} > \tau$
Caibro	28	36	29,64	0,6	0,3	0,7	$\bar{\tau} > \tau$
Ripa	6	7	3,58	0,3	0,3	0,7	$\bar{\tau} > \tau$

\* V é a força cortante; S é o momento estático; I é a inércia;  $\tau$  é a tensão cisalhante efetiva na peça;  $\bar{\tau}$  é a tensão admissível na peça segundo a antiga norma ABNT.

\*\*  $\bar{\tau}$  é a tensão admissível segundo a nova Norma ABNT.

## 6. CONCLUSÃO

Em relação ao projeto arquitetônico conclui-se que o sistema de treliças para a sustentação do telhado é uma boa opção para sustentá-lo. A utilização de sapatas nas colunas de sustentação tornou-se necessária para evitar a absorção de umidade pelo bambu, visto que é um material higroscópico. A escolha do sapê como cobertura garantiu a estrutura sua faceta ecológica e pelo fato de ser leve reduziu a carga sobre a estrutura.

Com a confecção dos protótipos pôde-se avaliar os problemas envolvidos na construção de estruturas de bambu. Observou-se que o fato do bambu ser oco poderia acarretar em problemas como o esmagamento de algumas peças. Foi possível identificar regiões críticas como a junção do tirante com o banzo superior onde está apoiada uma das terças do telhado e a junção do pendural, onde está apoiada outra terça, com o banzo superior do pendural com a terça. Observou-se também que a utilização de parafusos é uma boa opção para evitar que o bambu rache.

Em relação às propriedades físicas das espécies o *Dendrocalamus giganteus* é, dentro das espécies estudadas, a que apresentou as maiores dimensões de diâmetro externo, interno e espessura de parede. Por outro lado o *Phyllostachys aurea* é a espécie com as menores dimensões. Também, os diâmetros externos e internos tendem a diminuir com o aumento da altura do colmo. A espessura da parede apresentou comportamento similar, porém com maiores variações.

O comprimento dos internódios, para todas as espécies, tende a aumentar até o a parte mediana do colmo decaindo em seguida.

Quanto às propriedades de rigidez, as espécies de bambu estudadas se assemelham e ultrapassam as melhores madeiras destinadas à construção civil no Brasil.

Os valores de resistência à compressão são próximos para as três espécies estudadas. Quando comparados com espécies florestais, para a mesma faixa de massa específica, os valores de resistência são bem próximos.

Em relação à resistência ao cisalhamento o *D. giganteus* apresentou maior média dentre as espécies. Mas os resultados de uma forma geral são baixos quando comparados com valores encontrados em madeiras de reflorestamento.

A resistência média à flexão mostrou-se pouco maior nas amostras de *P. áurea* quando comparado com os resultados encontrados para *B. tuldoides*.

O projeto arquitetônico teve sua viabilidade técnico-constructiva confirmada com a análise estrutural. O que implica em dizer que as tensões efetivas, para todas as peças, se mostraram inferiores às tensões admissíveis. Então, a estrutura, baseada nas dimensões definidas no projeto arquitetônico, encontra-se segura permitindo a construção.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D. **Concreto Armado com bambu**. Instituto Euvaldo Lode. GO, 2003.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A.L.B. **Velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, 1981.
- BARBOSA, N. P. **Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais**. Departamento de Tecnologia da Construção Civil, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, UFPB, João Pessoa, 2005.
- BARBOSA, N M; VALARELLI, I. D.; RAFAEL, A. L. L.; SAMPAIO, R. M. **Produção e caracterização física de chapas de resíduos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus***. São Pedro, SP, 2006, 12p.
- BROTERO, F.A. **Métodos de ensaios adotados pelo IPT para estudo de madeiras nacionais**. São Paulo, SP: IPT, 1956. 62p. (Boletim 31).
- CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys áurea*: comportamento a flambagem**. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, RJ, 2002, 114p.
- CULZONI, R.A.M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Deptº de Engenharia Civil, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 1986, 134p.
- GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost construction material**. In international bamboo workshop, Cochin, India, 1988, 394p.
- GHAVAMI, K. **Desenvolvimento de elementos estruturais utilizando-se bambu**.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* e *Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2001. 53p.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades mecânicas dos colmos dos bambus das espécies: Mosó e *Guadua angustifolia* para utilização na engenharia**. Rio de Janeiro: PUC- Rio. Publicação RMNC-2 Bambu 02/ 2002, 90p.
- GHAVAMI, K.; SOUZA, M. V. **Propriedades mecânicas do bambu**. Rio de Janeiro: Puc-Rio, Relatório interno, 2000, 30p.
- GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. R.; GONÇALVES, C. D. **Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, FORTALEZA, CE, 2000, 3p.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms. International Network for Bamboo and Rattan.** China, 1998, 208p.

LIMA JUNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Comportamento em serviço de lajes de concreto reforçadas com bambu.** V ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS. Belo Horizonte, MG, 1995.

LIMA JUNIOR, H.C.; DALCANAL, P.R.; WILLRICH, F.L.; BARBOSA, N.P. **Caracterização teórica experimental das propriedades mecânicas do Bambu Dendrocalamus giganteus colhido em Cascavel, PR.** INTERNATIONAL CONFERENCE OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENIUM: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND INNOVATIVE CEMENT BASED MATERIALS. João Pessoa, 2000, v.1, p.394-406.

LIMA JUNIOR, H. C.; DIAS A. A. **Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v.5, n.3, p.519-524, 2001

LÓPEZ, O. H.; **BAMBOO THE GIFT OF THE GODS.** Bogota – Colombia. 2003. 553p.

MOREIRA, L.E. **Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu.** Dissertação - PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, 1991. 172p.

NASCIMENTO, A. M.; STACHERA, S. F.; XAVIER, L. M. **Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* (Munro).** Curitiba, PR, 2002. 10p.

NASCIMENTO, A. M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*).** Dissertação (mestrado) UFV, Viçosa, Mg, 1990, 85p.

OHRNBERGER, D. **The bamboo's on the world.** Annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxes. Elsevier. First edition. 1999, 586p.

PAULI, G. **Emissão Zero: A busca de novos paradigmas: o que os negócios podem oferecer a sociedade.** Editora da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul-EDIPUCRS, Porto Alegre, 1996, 312 p.

PEREIRA, M. A. R. **Bambu: Espécies, Características e Aplicações.** Departamento de Engenharia Mecânica/Unesp. Apostila. Bauru. 2001, 56 p.

PEREIRA, M. A. R. **Determinação de características físicas do bambu gigante laminado (*Dendrocalamus giganteus*), cultivado na Unesp/campus de Bauru.** EMBEMEM, 2006. 15p.

PEREIRA, M. A. R. **O uso do bambu na irrigação montagem de um sistema de irrigação por aspersão de pequeno porte, utilizando tubulação de bambu.** Congresso Brasileiro de Engenharia – Conbea, 1997.

RÉGIS, F. M. **Ecodesign: potencialidades do bambu**. Monografia Universidade Salvador-UNIFACS, BA, 2004, 75p.

SILVA, R. M. C. **O bambu no Brasil e no mundo**. 2005, 45p.

SOUTO, A. M. **Estudos de bambu**. Fundação de Tecnologia do estado do Acre – FUNTAC, Rio Branco, AC, 1990, 74p.

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na habitação de interesse social no Brasil**. Monografia PUC-Minas, 2002, 29p.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa**. Dissertação UNB, DF, 2006, 177 p.