

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FRANCISCO LIEBL NETO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA  
ESPÉCIE DE BAMBU *PHYLLOSTACHYS AUREA* DA REGIÃO DE PATO  
BRANCO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2017**

**FRANCISCO LIEBL NETO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA  
ESPÉCIE DE BAMBU *PHYLLOSTACHYS AUREA* DA REGIÃO DE PATO  
BRANCO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
*Câmpus* Pato Branco.

Orientador: Profa. Dra. Paôla Regina  
Dalcanal

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano  
Ostapiv

**PATO BRANCO**

**2017**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA ESPÉCIE DE BAMBU PHYLLOSTACHYS AUREA DA REGIÃO DE PATO BRANCO**

#### **FRANCISCO LIEBL NETO**

No dia 20 de junho de 2017, às 14h50min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº09-TCC/2017.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. PAÔLA REGINA DALCANAL (DACOC/UTFPR-PB)

Coorintador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. FABIANO OSTAPIV (DAMEC/UTFPR–PB)

Membro 1 da Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. HELOIZA PIASSA BENETTI (PPGTP-UTFPR/PB)

Membro 2 da Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. MARINA ROCHA PINTO PORTELA NUNES (DACOC/UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Eliane e a minha irmã Francine, por todo o apoio, suporte e força que me deram durante esses cinco anos do curso.

Ao restante da minha família pelo apoio emocional e incentivo que me deram.

Aos professores Gustavo e Normélio, bem como aos colegas Nayara, Fernando Guerra e Fernando José, pelo auxílio nos ensaios.

A professo Heloiza pela paciência e pela orientação nas iniciações científicas realizadas ao decorrer do curso.

Aos demais professores pelo suporte teórico e conhecimento fornecidos para a minha formação.

A professora Paôla pela orientação, paciência, escolha do tema e pela ajuda na realização de ensaios também.

Por fim, aos demais amigos feitos durante este tempo em Pato Branco tanto no curso como nos jogos de futsal nos fins de semana. Em especial. Anna, Angélica, Evelyn, Felipe, Gustavo, Jaqueline, João Ricardo, Mariana e Patrícia que acabaram minimizando a saudades de casa.

## RESUMO

NETO, Francisco Liebl. **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas da espécie de bambu *Phyllostachys aurea* da região de Pato Branco.** 2017, 96 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2017.

Em todo o mundo o bambu vem sendo utilizado nas mais diversas áreas, desde matriz energética, fonte de alimento até o uso como substituintes de matérias primas como o aço, asbesto, cimento e outros materiais poluentes não renováveis. No Brasil, essas pesquisas sobre o bambu vem sendo desenvolvidas desde a década de 70 por pesquisadores como Khosrow Ghavami, do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Na UTFPR-Câmpus Pato Branco, um incentivador e pesquisar do uso desse material em diversas áreas é o professor Fabiano Ostapiv, do Departamento de Engenharia Mecânica. Pensando nisso, o presente trabalho se propôs a caracterizar a densidade aparente dos colmos, e as propriedades mecânicas, flexão e compressão de peças de bambu, da espécie *Phyllostachys aurea*, tendo como base a NBR7190 (ABNT, 1997) – Projetos de Estrutura de Madeira, a ISO 22156(IS, 2016) – Bamboo – Structural Design, IS 6874(BIS, 2008) – Method of tests for bamboo, bem como trabalhos publicados a respeito do assunto. Com os registros, tratamento e análise dos dados foram propostas as resistências características da espécie. De forma a demonstrar sua utilização na construção civil, foi efetuado o dimensionamento de uma terça de *Phyllostachys aurea*, substituindo a terça original em Angelim pedra, em um sistema de cobertura.

### Palavras - chave

Análise experimental, dimensionamento de cobertura, uso do bambu na construção.

## ABSTRACT

NETO, Francisco Liebl. **Characterization of physical and mechanical properties of bamboo *Phyllostachys aurea* from the Pato Branco region.** 2017, 96 pág. Final Project in Civil Engineering Bachelor - Academic Department of Civil Construction, Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2017.

Throughout the world, bamboo has been in use in many different areas, since energy matrix, food source and as a substitute of raw materials such as steel, asbestos, cement and other non-renewable pollutants. In Brazil, these researches have been in development since the 1970s by researchers such as Khosrow Ghavami, from the Department of Civil Engineering of PUC-Rio. In UTFPR-Campus Pato Branco, an incentive and research on the use of this material in several areas is Professor Fabiano Ostapiv, Department of Mechanical Engineering. The present work intends on an evaluation of the apparent density of the stems, and mechanical proprieties, flexion and compression of bamboo pieces, based on NBR7190 (ABNT, 1997). Wood, ISO 22156 (IS, 2016) - Bamboo - Estrutural Design, IS 6874 (BIS, 2008) - Method of tests for bamboo, as well as published works. With the records, treatment and analysis of the data the characteristic resistance of the species was proposed. In order to demonstrate its use in the civil construction, we dimensioned a roof element of *Phyllostachys aurea*, replacing the original third in Angelim pedra, in a roof system.

### Key - words

Experimental analysis, coverage design, use of bamboo in construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura morfológica do bambu .....	17
Figura 2: Rizomas do tipo alastrante .....	18
Figura 3: Forma de crescimento do bambu alastrante .....	18
Figura 4: Rizoma leptomorfo .....	19
Figura 5: Crescimento do bambu tipo entouceirante .....	19
Figura 6: “Colegio de las Aguas de Montebello” Cáli - Colômbia .....	23
Figura 7: Pavilhão nacional de tecnologias – Colômbia .....	23
Figura 8: Produção da “Esterilha e Bahareque” .....	24
Figura 9: Painel tipo Quincha .....	24
Figura 10: Hotel ecológico alándaluz – Quito, Equador .....	25
Figura 11: Casa feita em bambu - Colômbia .....	26
Figura 12: Fachada do estacionamento do Zoológico de ZeipZig, Alemanha..	26
Figura 13: Ponte construída com vigas de bambu - Indonésia.....	26
Figura 14: Detalhes da estrutura de ponte em bambu - Indonésia.....	27
Figura 15: Tipos de treliça convencionais .....	31
Figura 16: Traves e arcos treliçados .....	32
Figura 17: Outros tipos de coberturas treliçadas .....	32
Figura 18: Elementos da cobertura .....	34
Figura 19: Esquema das primeiras coberturas em bambu .....	35
Figura 20: Tradicional casa chinesa em bambu .....	35
Figura 21: Casa de Toradja, na Indonésia .....	36
Figura 22: Elementos de uma treliça em bambu .....	36
Figura 23: Detalhes das ripas.....	37
Figura 24: Telhas de bambu utilizando a vara inteira .....	37
Figura 25: Telhado com telhas chatas de bambu.....	38
Figura 26: Cobertura do aeroporto de Barajas - Espanha.....	38
Figura 27: Aparelho para teste de cisalhamento .....	44
Figura 28: Esquema do CP de ensaio à compressão .....	45
Figura 29: Ensaio a Flexão com 4 pontos .....	46
Figura 30: Efeitos de sucção .....	54
Figura 31: Efeitos de sobrepressão.....	54

Figura 32: Vento de sucção 90° .....	55
Figura 33: Vento de sucção 0° .....	55
Figura 34: Vento de pressão 90° .....	55
Figura 35: Bambuzal de onde foram retiradas as amostras .....	56
Figura 36: Deformações nas varas .....	57
Figura 37: Corpos de prova utilizados na análise do teor de umidade, antes da secagem.....	57
Figura 38: Corpos de prova utilizados na análise do teor de umidade após secagem.....	58
Figura 39: Corpos de prova para ensaio de densidade.....	59
Figura 40: Equipamentos utilizada no ensaio.....	60
Figura 41: Execução do ensaio .....	60
Figura 42: Equipamentos utilizados no ensaio à flexão .....	63
Figura 43: Detalhe dos extensômetros.....	63
Figura 44: Metodologia utilizada para aferição da flecha .....	64
Figura 45: Gráfico: carga x deslocamento dos colmos basais na faixa de 31 a 40mm de diâmetro. ....	64
Figura 46: Gráfico: carga x deslocamento dos colmos basais na faixa de 41 a 47mm de diâmetro. ....	65
Figura 47: Gráfico: carga x deslocamento dos corpos de prova da região de meio/topo.....	65
Figura 48: Região utilizada para obtenção do coeficiente s .....	66
Figura 49: Equipamentos utilizados no ensaio à compressão.....	70
Figura 50: Corpos de prova rompidos à compressão.....	73
Figura 51: Ensaio de CP ao cisalhamento .....	74
Figura 52: Peça fabricada para o ensaio ao cisalhamento.....	74
Figura 53: Detalhe do rompimento do CP .....	76
Figura 54: Corpos de prova para cisalhamento interlaminar .....	77
Figura 55: Formato e dimensões do CP para cisalhamento transversal. ....	77
Figura 56: Flexão oblíqua.....	80
Figura 57: Viga bi apoiada submetida à carga distribuída.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características de algumas espécies de bambu .....	20
Tabela 2 - Coeficientes de majoração de forças permanentes de pequena variabilidade .....	50
Tabela 3 – Coeficientes de majoração de forças permanentes de grande variabilidade. ....	50
Tabela 4 – Coeficientes de majoração de forças variáveis .....	50
Tabela 5 - Coeficientes de minoração das ações secundárias .....	51
Tabela 6- Valores de $K_{mod,1}$ .....	52
Tabela 7 - Valores de $K_{mod,3}$ .....	52
Tabela 8 - Coeficientes de minoração das resistências .....	53
Tabela 9 - Teor de umidade dos colmos .....	58
Tabela 10 - Densidade aparente dos colmos basais de <i>Phyllostachys Aurea</i> .	61
Tabela 11 - Densidade aparente dos colmos do meio das varas de <i>Phyllostachys Aurea</i> .....	61
Tabela 12 - Densidade aparente dos colmos do topo das varas de <i>Phyllostachys Aurea</i> .....	61
Tabela 13 - Densidade aparente das regiões da planta .....	62
Tabela 14 - Dados do ensaio à flexão da região basal .....	66
Tabela 15 - Dados do ensaio à flexão da região meio e topo .....	67
Tabela 16 - Resultados do Ensaio à flexão .....	67
Tabela 17 – Média dos resultados: ensaio à compressão da região basal sem a presença de nó.....	70
Tabela 18 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região meio/topo sem a presença de nó.....	70
Tabela 19 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região basal com a presença de nó.....	71
Tabela 20 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região meio/topo com a presença de nó.....	71
Tabela 21 - Resistência à compressão .....	71
Tabela 22 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região basal sem a presença de nó.....	75

Tabela 23 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região meio/topo sem a presença de nó.....	75
Tabela 24 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região basal com a presença de nó.....	75
Tabela 25 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região meio/topo com a presença de nó.....	75
Tabela 26 – Resistência ao cisalhamento .....	76
Tabela 27 – Tensões e esforços resistentes característicos .....	78
Tabela 28 - levantamento das cargas .....	79
Tabela 29 - Valores de cálculo dos esforços.....	81
Tabela 30 - Dados geométricos de cálculo .....	81
Tabela 31 - Valores de cálculo para o dimensionamento.....	81
Tabela 32 - Valores de cálculo das resistências .....	82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. O BAMBU .....	16
2.1.1. Desenvolvimento e crescimento.....	16
2.1.2. Morfologia.....	17
2.1.2.1. <i>Leptomorfos ou Alastrantes:</i> .....	18
2.1.2.2. <i>Paquimorfos ou entouceirantes:</i> .....	19
2.1.3. Características físicas .....	20
2.1.4. Características mecânicas .....	21
2.1.5. Utilização do bambu na construção civil .....	22
2.2. DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BAMBU..	27
2.2.1. Dimensionamento da viga de bambu.....	27
2.2.2. Dimensionamento à flexão.....	27
2.2.3. Verificação por deflexão excessiva (flecha).....	28
2.2.4. Verificação ao cisalhamento.....	28
2.2.5. Verificação ao esmagamento do colmo.....	29
2.3. SISTEMAS DE COBERTURA.....	30
2.3.1. Sistemas de cobertura em madeira.....	31
2.3.2. Bambu em telhados.....	34
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	39
3.2. ETAPAS DO ESTUDO .....	40
3.2.1. Caracterização da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> .....	40
3.2.1.1. Amostras.....	40
3.2.1.2. <i>Determinação da umidade</i> .....	41
3.2.1.3. <i>Propriedades físicas</i> .....	42
3.2.1.3.1. <i>Densidade aparente</i> .....	42
3.2.1.4. Propriedades mecânicas.....	43

3.2.1.4.1. Resistência ao cisalhamento.....	43
3.2.1.4.2. Resistência à compressão.....	44
3.2.1.4.3. Flexão simples.....	45
3.2.1.5. Propriedades geométricas do bambu.....	47
3.2.1.5.1. Momento de inércia.....	47
3.2.1.5.2. Área.....	47
3.2.1.5.3. Conicidade.....	48
3.2.2. Dimensionamento da terça.....	48
3.2.2.1. Estudo do vento.....	53
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
4.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	56
4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	59
4.3. FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	62
4.4. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	69
4.5. CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS.....	73
4.6. DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS.....	77
4.7. DIMENSIONAMENTO.....	78
4.7.1. Análise estrutural.....	79
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente os setores produtivos mundiais vêm investindo na busca por matrizes energéticas e matérias primas renováveis e de baixo impacto, devido principalmente à crescente busca por sustentabilidade, seja por questões econômicas ou interesses pessoais.

Foi criada em 1983, pela Assembleia Geral da ONU, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida pela norueguesa Gro Brundtland. Esta comissão avaliou os impactos ao meio ambiente durante os 10 anos passados desde a Conferência de Estocolmo de 1972, com objetivo de promover audiências em todo o mundo e produzir um resultado final dessas discussões (MIRIAM, 2011).

Em 1987, Brundtland apresentou os resultados destas discussões e inseriu um novo conceito de sustentabilidade, publicado no livreto *Our Common Future*: “Desenvolvimento sustentável significa suprir as necessidades do presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades”. Este é o primeiro conceito reconhecido mundialmente a respeito do desenvolvimento sustentável (CABRERA, 2009).

Já na construção civil, para um empreendimento ser considerado sustentável este deve atender, de modo equilibrado, quatro requisitos básicos: adequação ambiental, viabilidade econômica, justiça social e aceitação cultural (CONSTRUÇÃO, 2008, p.14).

Com isto, materiais vistos como de baixo processamento industrial passaram a ser observados com novos olhares. Como é o caso do bambu, um material que desde épocas milenares vem sendo utilizada como matéria prima nos mais diversos campos em países asiáticos, bem como recentemente em alguns países da América Latina (MARQUEZ, 2007).

O uso desta gramínea, com cerca de 1300 espécies identificadas mundialmente, sendo que 34% destas Americanas (O Bambu, 2016), são muitos e a cada dia são desenvolvidas novas utilizações para esta matéria prima, pois, cada espécie possui características únicas. Sendo exemplos: diâmetro, cor, tamanho e forma; características estas que oferecem a possibilidade de seu uso diversificado (MARÇAL, 2008).

Na construção, o bambu pode ser utilizado de forma inteira (roliça), empregado na construção de tesouras, pilares e vigas, e na forma partida (talisca), como reforço ao concreto, bem como em forma de tábuas e réguas para construção de cercas, painéis e paredes de fechamento (CARDOSO, 2000).

Países próximos ao Brasil, como a Colômbia e a Costa Rica, se destacam na utilização do bambu como material de construção, principalmente na construção de habitações populares. Como exemplo, a espécie *Guadua Angustifolia*, de origem no Brasil, foi exportada para a Costa Rica, considerado o país mais desenvolvido na produção de habitações em bambu em 1996 (Folha de São Paulo, 1996), chegando a construir um total de 200 habitações/mês. Simón Velez, arquiteto colombiano, foi responsável por muitos estudos a respeito da utilização desta matéria-prima, e hoje na Colômbia existe um manual de construção com bambu. Além do país em questão possuir uma grande quantidade de estruturas utilizando este material.

Seguindo esta tendência mundial, e levando em conta a versatilidade e grande resistência do bambu, o trabalho a seguir trata-se de um estudo a respeito da utilização desta matéria-prima como alternativa ao uso de madeira convencional em estruturas de cobertura. O trabalho consiste, em sua primeira parte, em um apanhado das características biológicas da planta bambu, bem como a realização de um levantamento bibliográfico a respeito das características físicas e mecânicas de espécies já estudadas. Em um segundo momento o trabalho traz, brevemente, a utilização do bambu em alguns sistemas de cobertura. Na sequência, apresentam-se os procedimentos para realização dos ensaios e sua análise, com o intuito de demonstrar a importância desta planta pouco utilizada na engenharia e estabelecer uma caracterização do *Phyllostachys aurea*, de forma a acrescentar esta, as demais espécies estudadas e utilizadas hoje em dia, em especial para substituição da madeira convencional em sistemas de cobertura.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, da região de Pato Branco-PR, e dimensionar, utilizando os valores encontrados, um elemento de terça para telhado constituído deste material.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre bambu e o uso da referida espécie, na construção civil.
- Avaliar as propriedades físicas, densidade aparente dos colmos, mecânicas, flexão, cisalhamento e compressão de peças de bambu, tendo como base a NBR7190 (ABNT, 1997) – Projetos de Estrutura de Madeira, a ISO 22156 (IS, 2016) – Bamboo – Structural Design, IS 6874 (BIS, 2008) – Method of tests for bamboo, bem como trabalhos publicados a respeito do assunto.
- Avaliar a utilização da espécie estudada, baseando-se nos resultados das propriedades apresentadas pelo material, como alternativa a substituição de uma terça em angelim pedra em um sistema de cobertura.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil vive hoje um momento ímpar no que diz respeito à sustentabilidade. Este por muitos anos, mesmo tendo ciência da gama de problemas e impactos por ele gerados ao ambiente, se mostrou inerte, ou seja, não procurou mudar esta realidade. Apenas a partir da década de 80, com o surgimento dos primeiros selos de certificação, os quais tratavam da eficiência e qualidade do ambiente construído, começou a rever seus conceitos sobre as formas de construir e os materiais empregados em seus empreendimentos (VIEIRA, 2014).

Mudanças mais significativas neste setor começam a surgir no início do século XXI com conceitos como o ZEB (Zero Energy Building) que, além da busca por minimizar o consumo de matérias-primas enfoca um consumo

energético muito baixo ou inexistente (VIEIRA, 2014). Outro incentivo para a busca de soluções menos agressivas é a variedade de selos ambientais espalhados pelo mundo. Os selos, são a garantia da passagem das construções por avaliações, bem como sua conformidade com normas nacionais e internacionais relacionadas à sustentabilidade, o que, segundo Figueiredo (2016) faz com que, 90 a 98% das pessoas se disponham a pagar mais pelo produto. Dentre os selos, no mundo, destacam-se o AQUA (Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento), adaptado do selo francês HQE (Haute Qualité Environnementale), o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) e o DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) (GORETTI,2013).

Assim, produtos com baixo impacto como o bambu vêm se destacando cada vez mais no mercado, não apenas por sua versatilidade e maleabilidade, mas também devido as suas características produtivas. Não há nenhuma outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de aproveitamento e área (JARAMILLO, 1992). Em média, de 3 a 6 meses é o tempo para que a gramínea atinja sua altura máxima, de até 30m, dependendo da espécie.

A espécie em estudo, *Phyllostachys aurea*, possui dimensões em torno de 6m de altura e 6cm de diâmetro. Apesar das dimensões reduzidas, se comparadas às do *Dendrocalamus giganteus*, que tem dimensões em torno de 30m de altura e 30cm de diâmetro, por exemplo, essa espécie também merece devida observação. Pois podendo ser utilizado em estruturas auxiliares de telhados, como as ripas, caibros ou terças, dependendo dos carregamentos; produção de móveis e na execução de andaimes, minimizando o uso de materiais como a madeira e fornecendo uma alternativa viável e sustentável ao ambiente da construção civil.

Esta pesquisa torna-se viável com base nos equipamentos para ensaios de tração, compressão, cisalhamento e flexão existentes na instituição e a facilidade de captação da matéria-prima para os estudos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. O BAMBU

#### 2.1.1. Desenvolvimento e crescimento

O crescimento dos bambus é muito diferenciado das madeiras convencionais, pois se processa de maneira inversa. Este já nasce com o diâmetro que terá pelo resto de sua vida, sendo maior próximo ao solo e diminuindo com a altura, num formato cônico, sem aumentar com o passar do tempo (SPOLIDORO, 2008).

Desta forma, as partes mais próximas ao solo são as que apresentam maiores valores no quesito de propriedades mecânicas. O sistema de sustentação da planta se dá pela disposição de feixes de fibras dispostos em uma mesma direção, seguindo quase paralelos por todo o colmo, mudando somente próximo aos nós, região formada literalmente por um emaranhado de fibras em todas as direções, o que propicia uma maior resistência da região à compressão e fornece a rigidez entre os diferentes colmos (HIDALGO, 1974).

Uma das grandes vantagens do bambu sobre as madeiras convencionais está na sua velocidade de crescimento, atingindo cerca de 20 a 30m de altura em um prazo de 4 a 6 meses, crescendo cerca de 30% mais rápido que qualquer outra espécie florestal, além de ser considerado um ótimo sequestrador de CO<sub>2</sub>. Segundo UEDA (1981, apud RAMOS, 2009), no ano de 1956 em Kyoto um espécime da espécie *Phyllostachys bambusoides* cresceu 121cm em apenas 24 horas.

O bambu possui ainda a capacidade de produção de varas anualmente sem a necessidade de replantio, podendo ter uma vida útil de exploração, dependendo de como manejado e tratado, de muitos anos em um mesmo local (CAVERSAN, 2012).

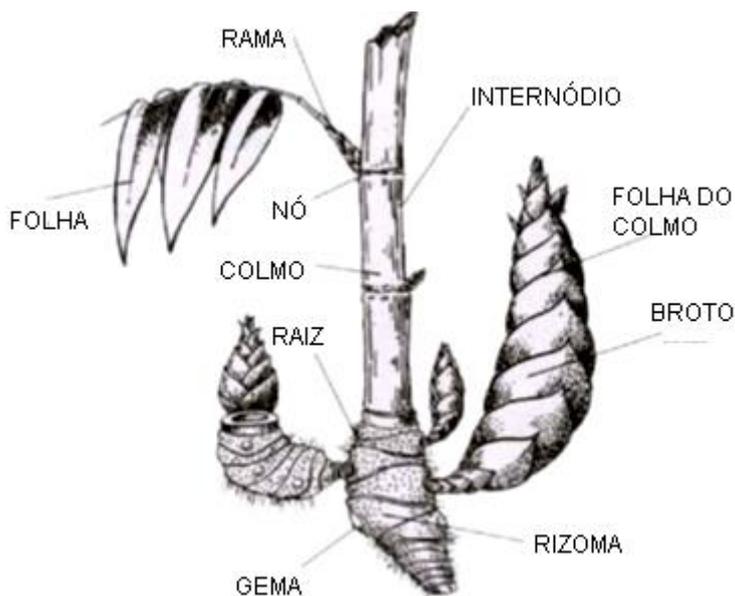
### 2.1.2. Morfologia

O bambu é composto por basicamente duas partes principais, constituídas por uma alternância de nós e entre nós, sendo estas a subterrânea e a aérea (VASCONSELLOS, 2004).

A parte aérea é composta pelos colmos e galhos. Os colmos são basicamente a parte da planta localizada entre os entrenós, enquanto os galhos crescem de gemas localizadas na região dos nós da planta, região formada por um massivo de tecido que compreende além das gemas o anel nodular e o anel da bainha (PRATES, 2013).

Já a parte subterrânea do bambu é formada pelos rizomas, que são caules subterrâneos que se reproduzem e alastram de forma semelhante à raiz de gramíneas, grupo ao qual o bambu pertence.

De acordo com López (2003, apud NUNES) o nascimento de novos colmos ocorre anualmente de forma assexuada por multiplicação dos rizomas. Baseado nesta forma de ramificação dos rizomas as espécies de bambu podem ser classificadas em dois grupos principais: o grupo entouceirante ou tipo moita, onde os colmos nascem e conforme seu desenvolvimento vão formando um aglomerado. E o alastrante, em que os colmos se espalham e desenvolvem-se de forma distinta, de forma a espalharem-se pelo terreno sem a formação de aglomerados. A Figura 1 detalha a estrutura morfológica do bambu.

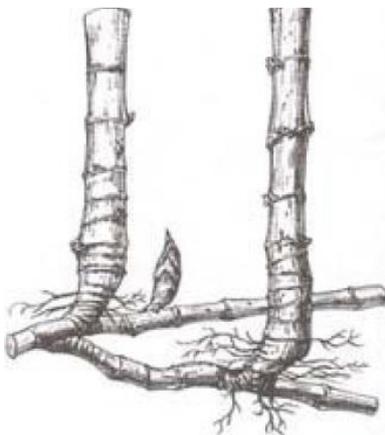


**Figura 1: Estrutura morfológica do bambu**  
Fonte: Spolidoro (2008).

### 2.1.2.1 *Leptomorfos ou Alastrantes:*

Resistentes ao frio, este grupo tem rizomas geralmente sólidos, além de apresentar um diâmetro reduzido se comparado aos colmos da planta e, seus nós contém as gemas, que podem estar permanentemente ou momentaneamente dormentes. Quando em estado ativo, estas gemas tendem a brotar de forma esparsa, alastrando-se por grandes áreas (LOPEZ, 2003).

Devido a este último fato, este grupo é considerado extremamente invasor, necessitando de cuidados especiais, como é o caso do *Phyllostachys aurea*. Esta espécie, em caso de plantio pode ser facilmente contida através da adoção de barreiras físicas como mantas plásticas e estradas com trânsito regular. A figura 2 apresenta a estrutura deste tipo de bambu enquanto a figura 3 possibilita uma melhor visualização da forma com que esta espécie se alastra.



**Figura 2: Rizomas do tipo alastrante**  
**Fonte: Spolidoro (2008).**

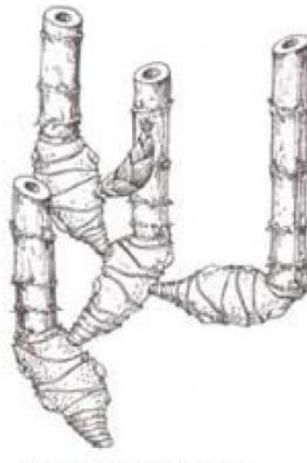


**Figura 3: Forma de crescimento do bambu alastrante**  
**Fonte: Lago, 2015**

### 2.1.2.2 Paquimorfos ou entouceirantes:

Basicamente tropicais, apresentam desenvolvimento lento em climas frios. Possuem rizomas sólidos contendo raízes em sua parte inferior, denominadas paquimorfos devido a sua estrutura, curtos e grossos. Semelhante aos bambus alastrantes, possuem gemas laterais em seus rizomas, porém, estas dão origem somente a novos rizomas, os quais podem permanecer inativos temporária ou permanentemente (SPOLIDORO, 2008), conforme figura 4. Um melhor entendimento da forma de crescimento deste tipo de bambu pode ser observado na figura 5.

Os colmos desta espécie tem origem apenas nas gemas apicais dos rizomas, assim cada rizoma pode dar origem a somente um colmo. É este o fato que faz com que este grupo acabe por formar uma touceira densa e concêntrica (SILVA, 2005).



**Figura 4: Rizoma leptomorfo**  
**Fonte: Spolidoro (2008).**



**Figura 5: Crescimento do bambu tipo entouceirante**  
**Fonte: Lago, 2015**

### 2.1.3. Características físicas

O bambu, assim como a madeira, é um material ortotrópico, ou seja, apresenta diferentes características de acordo com a direção em que se colhem os dados. Uma das características que lhe fornecem este comportamento é o fato de ser formado por fibras longitudinais, que vão desde um nó até o próximo. Isto ocasiona um emaranhado de fibras, onde se localizam os nós, ali unidas fortemente por uma substância aglutinante. Semelhante às madeiras florestais que possuem umidade natural em torno de 12%, a umidade dos bambus varia de 13% a 20%, dependendo do clima local.

Trata-se de um material higroscópico, esse termo significa que seu volume e dimensões sofrem alterações com o aumento e diminuição de umidade. Segundo Liese (1988), o bambu tem sua instabilidade dimensional devida à grande porcentagem de células de parênquima que colapsa durante a perda de água livre, afetando resultados de ensaios de retratibilidade.

De acordo com Geymeier e Cox (1970), o coeficiente de dilatação térmica é diferente no sentido longitudinal e transversal da planta. Sendo um pouco menor que o do concreto e do aço no sentido longitudinal, enquanto no sentido transversal chega a ser três vezes maior. Assim, em uma mesma umidade o bambu transmite 15% menos calor radialmente que uma madeira nas mesmas condições, sendo que no sentido longitudinal este valor é 20% menor.

Um dos maiores pesquisadores da área no Brasil, Ghavami, juntamente com Marinho (2001), elencaram as propriedades físicas de colmos de diversas espécies de bambu, como a variação do diâmetro externo, espessura da parede e seu comprimento internodal. Dentre as espécies estudadas estão: *Dendrocalamus Giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, Mossó e Matake. Os dados estão na tabela 1.

**Tabela 1: Características de algumas espécies de bambu**

Características Físicas		Espécies de Bambu					
		Dendrocal giganteus	Guadua angustifolia		Guadua tagoara	Matake	Mosó
			SP	JB-RJ			
<b>Comp total (m)</b>		18,85	15,55	20,91	15,23	20,45	15,68
<b>Comp. Internodal (mm)</b>	Mínimo	244,00	138,50	197,50	201,25	65,50	40,00
	Máximo	508,00	315,75	426,60	447,75	509,00	395,50
	Média	392,68	229,80	321,70	346,09	335,30	290,43

<b>Diâmetro externo (mm)</b>	Mínimo	9,83	31,21	21,67	47,00	10,50	25,36
	Máximo	131,49	101,86	135,30	106,63	118,25	131,78
	Média	79,87	79,56	90,37	83,70	70,22	78,63
<b>Espessura da parede (mm)</b>	Mínimo	2,00	3,00	9,13	8,02	2,99	2,32
	Máximo	17,03	22,13	21,84	26,21	25,16	19,86
	Média	7,97	10,80	12,26	14,74	8,93	11,17

Fonte: Adaptado de Ghavami e Marinho (2001).

#### 2.1.4. Características mecânicas

Em ambiente natural, o bambu faz o papel de um console, engastado em uma ponta e livre na outra, sendo forçado a resistir, portanto a momentos fletores e ao seu peso próprio, fazendo desta planta um dispositivo natural de resistência à momentos fletores (TAN, T et al, 2011). De forma semelhante às demais madeiras, o bambu é um material anisotrópico, ou seja, possui diferenças em suas propriedades conforme a orientação da aplicação das forças.

A densidade interfere diretamente nas propriedades mecânicas dos colmos, e essa, de acordo com Liese (1998), depende diretamente do conteúdo das fibras, de seu diâmetro e da espessura da parede de suas células. O que causa grande variação nas propriedades mecânicas não somente entre as diferentes espécies mais entre os diferentes colmos da planta (LINDHOL, 2007). Por exemplo, os colmos da base das varas de bambu tendem a apresentar maiores valores em relação às características mecânicas que os colmos do topo, diferença esta, devida à densidade das fibras e às diferenças de idade entre os colmos. Os colmos mais antigos tendem a ser mais resistentes que os mais jovens.

Outros fatores como as características do solo do bambuzal, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade e a presença ou não dos nós durante a execução dos testes também tendem a inferir diferenças nos resultados dos testes (CRUZ, 2002).

Por exemplo, em estudo realizado por GHAVAMI e HOMBECK (1981), observa-se que devido à descontinuidade das fibras e a mudança dimensional causada pelo nó, em testes de tração a maioria das rupturas aconteceram perto a este. Observa-se ainda que, devido à maior seção transversal dos colmos na base da planta, este apresentara maiores cargas de ruptura.

### 2.1.5. Utilização do bambu na construção civil

Há milhares de anos, países asiáticos vêm utilizando o bambu como material para fabricação de utensílios domésticos, armas de guerra e edificações como casas e atualmente utilizam muito esta matéria-prima na fabricação de andaimes. Porém, foi apenas recentemente que o ocidente começou a explorar este material, em grande parte devido às possibilidades arquitetônicas e a abundância do bambu (VASCONSELLOS, 2004).

São diversas as formas de utilizar o bambu na construção civil, estruturalmente, como agregado ao concreto, em revestimentos. Além de existir a possibilidade de execução de chapas prensadas, OSB (Painel de Tiras de Madeira Orientadas), MDF (Fibra de Madeira de Média Densidade), compensado e aglomerado (CAVERSAN, 2012). Geralmente utiliza-se esta matéria-prima de forma in natura, devido à simplicidade dos equipamentos e técnicas necessárias, o que acaba minimizando o custo final das obras.

Apesar de exigir um cuidado maior nas ligações entre os diferentes elementos em bambu, devido ao fato deste representar um ponto fraco desta madeira, caso seja mal executada, pode acarretar esmagamento da seção e comprometimento da estrutura. Países como a Colômbia desenvolveram uma gama de processos para resolver estes problemas. A Colômbia conta inclusive, com um manual de construção em bambu. Dentre estas técnicas podemos citar as varas rosqueadas e a utilização de concreto para maior enrijecimento das ligações (LOPEZ, 1981).

Com base nessas técnicas têm-se alguns exemplos, na Colômbia, como o prédio do Ministério do Meio Ambiente, a Faculdade Nacional de Engenharia e o Pavilhão Nacional de Tecnologias, figura 7, ambos com áreas construídas superiores a 3.000m<sup>2</sup>. Bem como o “Colegio de Las Aguas de Montebello” com cerca de 600m<sup>2</sup>, figura 6.

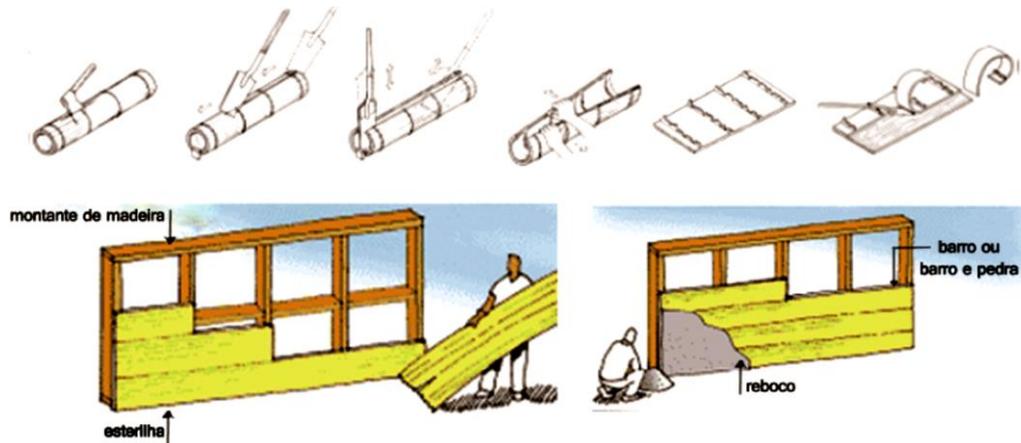


**Figura 6: “Colegio de las Aguas de Montebello” Cáli - Colômbia**  
**Fonte: Franco 2014**



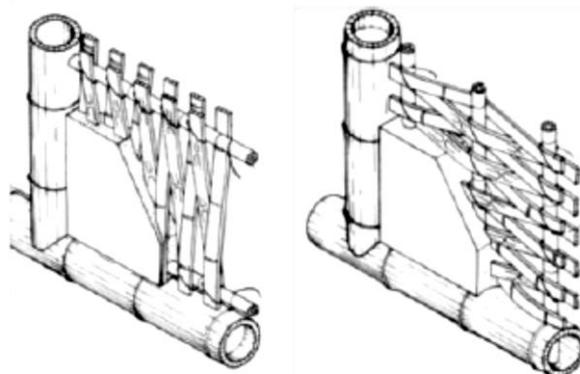
**Figura 7: Pavilhão nacional de tecnologias – Colômbia**  
**Fonte: Júnior (2016)**

Além dos usos estruturais, o bambu pode ser usado em estruturas de vedação como “Bahareque”, parede formada por tiras ou “esterilhas” de bambu entrelaçados ou amarrados a bambus de pequenas dimensões, posicionados na horizontal ou na vertical. A figura 8 apresenta a forma de produção das “esterilhas” e do “bahareque” (DAVID e CAVERSAN, 2012).



**Figura 8: Produção da “Esterilha e Bahareque”**  
**Fonte: Caversan (2012).**

Outra estrutura de fechamento muito comum é a de tramados de bambu, denominada “quincha”, usada como base para aplicação de reboco em duas camadas de cimento e areia no traço 1:5, formando painéis presos à montantes de bambus roliços de maiores dimensões como observado na figura 9.



**Figura 9: Painel tipo Quincha**  
**Fonte: Lopez (2003).**

Um bom exemplo do funcionamento das estruturas em bambu pode ser observado no Hotel Ecológico Alándaluz em Quito no Equador, figura 10. A obra foi construída por González em 1990. De acordo com CARDOSO (2000) a obra foi realizada por órgãos não governamentais como um experimento e também como incentivos as construções por meios alternativos e ecologicamente sustentáveis.



**Figura 10: Hotel ecológico alándaluz – Quito, Equador**  
**Fonte: Christian C. (2011)**

Devido ao peso reduzido do bambu, na maior parte da obra, a fundação realizou-se apenas através de vigas baldrame e, em alguns pontos como no restaurante do hotel com altura de 12m foram executadas paredes de pedra para o apoio dos pilares. Em relação à estrutura, esta foi projetada com minimização de esforços à flexão. De acordo com CARDOSO (2000), as ligações na interface bambu-concreto tendem a sofrer um escorregamento devido às variações volumétricas do bambu, porém nas ligações tipo “Velez” em que se insere concreto no interior dos colmos para enrijecimento da região, o concreto aumenta a área de aderência dos parafusos utilizados, favorecendo a resistência da ligação.

Visto as novas exigências da NBR 15575-5 (ABNT, 2013), é interessante ressaltar que após experimentos realizados chegou-se à conclusão que em relação ao isolamento térmico, as paredes com fechamento com “esterilha” se mostraram satisfatórios, tanto as argamassadas como “cruas” (CARDOSO, 2000).

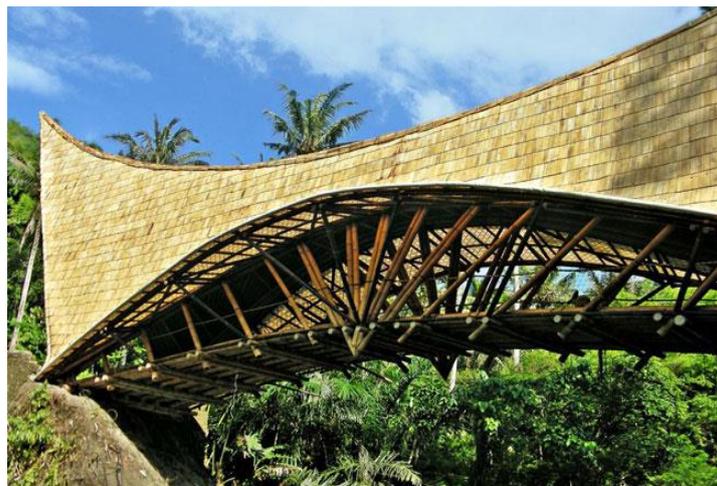
As figuras 11 a 14 apresentam alguns exemplos de construções utilizando o bambu, tanto na forma de fechamento como na composição da estrutura em si.



**Figura 11: Casa feita em bambu - Colômbia**  
**Fonte: Arquitetura Sustentável (2012)**



**Figura 12: Fachada do estacionamento do Zoológico de ZeipZig, Alemanha**  
**Fonte: PET Engenharia Civil UFJF(2015)**



**Figura 13: Ponte construída com vigas de bambu - Indonésia**  
**Fonte: Pequenas empresas Grandes negócios(2012)**



**Figura 14: Detalhes da estrutura de ponte em bambu - Indonésia**  
**Fonte: STAMM(2016)**

## 2.2. DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM BAMBU

### 2.2.1. Dimensionamento de Vigas de bambu

Como as terças são basicamente vigas dimensionadas à flexocompressão, utiliza-se parte da ISO22156(IS, 2004), traduzida e adaptada em proposta de norma por Barbosa (2014) para o dimensionamento destes elementos. O vão teórico varia conforme os aspectos a seguir:

- Distância entre as faces do apoio, mais metade do comprimento do apoio para vigas simplesmente apoiadas;
- Centro a centro dos apoios, em caso de vigas contínuas;
- Vão livre mais metade do apoio, para vigas em balanço.

### 2.2.2. Dimensionamento à flexão

Para seções compostas por mais de um colmo, o momento fletor em cada colmo pode ser obtido dividindo-se o momento total pelo número de colmos.

Devido à resistência à tração do bambu ser maior que à compressão, o controle de segurança é realizado pela tensão de compressão na flexão, a partir das equações 1 e 2.

$$\sigma_{cd} = \frac{M_d}{W} \quad (1)$$

Com:

$M_d$  - Momento solicitante de cálculo, obtido conforme as combinações de ações, em KN.m;

$W$  – momento resistente da seção transversal, correspondente ao momento resistente físico, em m<sup>3</sup>:

$$W = \frac{I}{D_m} \quad (2)$$

Para que o elemento resista é necessário então que a relação 3 seja atendida:

$$\sigma_{cd} \leq f_{c0,d} \quad (3)$$

Em que:

$f_{c0,d}$  - resistência de cálculo à compressão, obtida da equação 1, majorada, em MPa;

$\sigma_{cd}$  – solicitação de cálculo à compressão, em Mpa.

### 2.2.3. Verificação por deflexão excessiva (flecha)

Devido à baixa rigidez à flexão de um colmo de bambu, geralmente é a deflexão e não a resistência à compressão o fator limitante de estruturas de bambu. Desta forma é comum o uso com vigas compostas com mais de um colmo.

É indicado que a deflexão máxima seja calculada e comparada com o valor limite de  $L/300$ , levando em conta a curvatura inicial do colmo para tal cálculo, sendo  $L$  o vão da viga.

Como a fluência do bambu ao longo do tempo, devido às ações permanentes atinge o valor de 1,65 vezes a flecha inicial, emprega-se no cálculo de rigidez à flexão ( $E.I$ ) da viga, o módulo de elasticidade de cálculo à compressão do bambu, através da equação 4:

$$E_{c0,d} = k_{mod} \cdot E_{c0,m} \quad (4)$$

Onde:

$E_{c0,d}$  – Módulo de elasticidade transversal de cálculo, em m<sup>4</sup>.

$E_{c0,m}$  – módulo de elasticidade transversal médio, obtido através de  $E.I$ , com  $I$  da equação 21, em m<sup>4</sup>;

$k_{mod}$  - obtido conforme equação 26.

### 2.2.4. Verificação ao cisalhamento

Geralmente, as tensões de cortes em vigas são relativamente pequenas, porém na linha neutra e nas proximidades do apoio, sua verificação é necessária, caso o comprimento da viga seja 25 vezes o diâmetro de sua extremidade e nos pontos em que há cargas concentradas.

Em caso de vigas compostas por vários colmos, o esforço cortante total pode ser dividido pelo número de colmos. Para que a segurança seja satisfeita:

$$\tau_d \leq f_{wd} \quad (5)$$

Em que  $\tau$  é obtido pela equação 6:

$$\tau_d = \frac{2.V_d}{\pi.D.t} \quad (6)$$

Sendo:

$\tau_d$  – Resistência ao cisalhamento de cálculo, em KN/m<sup>2</sup>.

$V_d$  – Esforço cortante de cálculo, em KN;

$D$  – Diâmetro do colmo, em m;

$t$  - a espessura das paredes do colmo, em m;

Para que a resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, na falta de dados pode ser obtido conforme equação 7:

$$f_{v0,d} = 0,15.f_{c0,d} \quad (7)$$

#### 2.2.5. Verificação ao esmagamento do colmo

Para que a segurança seja satisfeita, Barbosa (2014), propõem que a força de cálculo,  $F_d$ , obtida a partir da combinação normal de ações disposta na NBR7190 (ABNT, 1997), equação 26, satisfaça a equação 8.

$$F_d \leq \frac{1,2.f_{ct90,d}.a}{3D} \quad (8)$$

Onde:

$F_d$  – Força de cálculo, em KN;

$f_{ct90,d}$  – resistência à tração de cálculo perpendicular à fibra, em MPa;

$t$  – espessura da parede, em m;

$a$  – comprimento de contato da força com o colmo de bambu;

$D$  – diâmetro externo do bambu no local de aplicação da força, em m.

Barbosa (2014) diz que, todos os colmos de bambu submetidos a esforços de compressão perpendicular às fibras devem ter um reforço no ponto de

aplicação, sendo os colmos preenchidos com argamassa de cimento. Caso isto não seja executado, deve-se atender a equação 8.

$f_{ct90,d}$  é obtido através da equação 9, com  $\gamma_m = 3$ :

$$f_{ct90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{ct90,k}}{\gamma_m} \quad (9)$$

Quando é utilizado mais de um colmo para compor a viga, estes devem estar conectados com parafusos, cintas metálicas ou qualquer outro elemento que garanta o trabalho em conjunto. Estes conectores devem ser projetados para resistir às forças que aparecem nas uniões, e nos entrenós onde se localizam. Devem ser tomadas medidas para evitar falha por corte paralelo às fibras ou esmagamento do colmo.

### 2.3. SISTEMAS DE COBERTURA

Por se tratar da parte última do edifício, ou seja, a parte que protege as demais estruturas de um edifício, a cobertura está diretamente exposta às intempéries como a radiação solar, a chuva e os efeitos oriundos de ventos. Para tanto esta estrutura deve ser realizada de tal maneira a minimizar os efeitos nocivos destes ao ambiente interno (ABNT, 2013).

De acordo com a NBR15575 (ABNT, 2013), as funções da cobertura consistem, desde a proteção do corpo da construção, à saúde dos usuários. Utilizados para prevenir a degradação dos materiais da construção, bem como a proliferação de patógenos oriundos da infiltração da umidade causada pelas intempéries, além de evitar corrosão, apodrecimento e fissuras nos materiais.

Outra definição, segundo Pletz e Molina (2010) que ela é a estrutura que sustenta as telhas. Estrutura principal de apoio, responsável por manter a estabilidade do conjunto e, em alguns casos adaptado a um sistema de captação de águas pluviais, podendo variar em formas, cores e texturas.

Um ponto importante a se ater é o fato de que as coberturas devem ter o caimento adequado de acordo com o material que a compõem. O projeto deve ser compatível e atender requisitos como a não propagação de chamas, em caso de incêndio, resistir a seu peso próprio, e às ações provenientes de equipamentos, ventos, chuva, neve, manutenção. Deve ainda possuir a capacidade de vencer os vãos para os quais foi projetada (CHING, 2010).

### 2.3.1. Sistemas de cobertura em madeira

Desde que o ser humano deixou de ser nômade passou a necessitar de estruturas para abrigar a si e seus familiares. Passando assim, a se utilizar dos recursos naturais que dispunha para execução destas estruturas. Há relatos que por volta de 3000 a. C, os egípcios já utilizavam a madeira em estruturas treliçadas com a finalidade da sustentação de palafitas nas margens do Nilo. Utilizando ainda, pedras como elemento de fundação e argila como parede (PINHEIRO, 1996).

PINHEIRO (1996) aponta ainda que em países como a Índia, por volta de 1000 a.C a 500 a.C já utilizavam-se de formas triangulares e abobadas em estruturas de cobertura.

Hoje, ao observarmos as cidades e até mesmo as áreas rurais, observa-se que as estruturas mais comuns são as treliçadas, aporticadas e em arcos.

Sendo que as estruturas em arcos são utilizadas de forma mais geral para vencer grandes vãos, devido às limitações referentes às dimensões das peças de madeira. Já estruturas aporticadas são mais utilizadas em estruturas pré-fabricadas, como galpões, sendo, portanto mais utilizadas em áreas rurais.

Porém, dentre estas, a mais comum é a utilização de treliças, sendo as do tipo HOWE, PRATT e BELGA, exemplificadas nas figuras 15 à 17, as mais usuais, ambas utilizadas em telhados com duas águas. Em estruturas de madeira a mais econômica e mais utilizada é a HOWE, enquanto que em estruturas metálicas, onde há a necessidade de passagem de dutos e tubulações na parte central da estrutura, esta é a menos indicada (NETO, 2010).

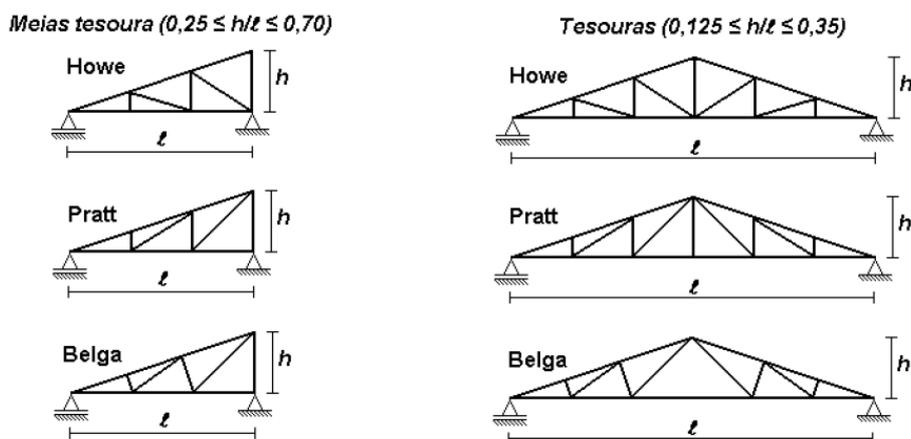
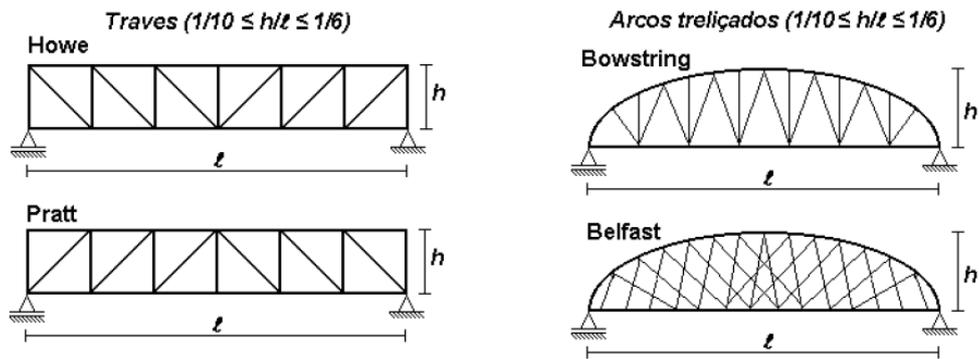
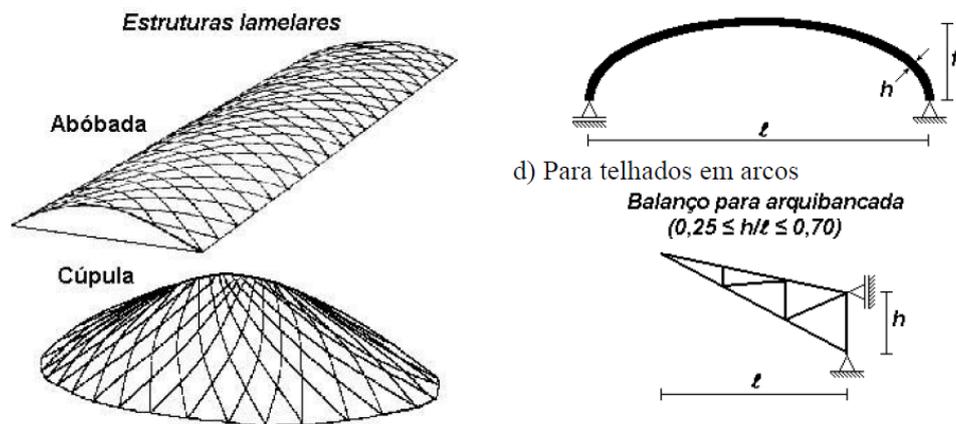


Figura 15: Tipos de treliça convencionais  
Fonte: Logsdon (2002).



**Figura 16: Traves e arcos treliçados**  
**Fonte: Logsdon (2002).**



**Figura 17: Outros tipos de coberturas treliçadas**  
**Fonte: Logsdon (2002).**

O sistema de cobertura em madeira pode ser subdividido, segundo Pletz e Molina (2010) em:

- Telhado: parte estética da cobertura composto pelas telhas;
- Trama: sustentação do telhado;
- Estrutura vertical de sustentação da trama;
- Sistema de contraventamento: responsável por condicionar a estrutura a absorver os esforços horizontais, mantendo o sistema em equilíbrio;
- Sistema de Captação de águas pluviais: tem por função coletar e conduzir a água até um local adequado para armazenamento.

Cada um dos subsistemas acima pode ainda ser subdividido de acordo com os esforços a que são submetidos. O telhado, por exemplo, é composto pelas telhas as quais devem ser escolhidas de forma a suportarem todos os

pré-requisitos citados anteriormente e que vão determinar a inclinação do sistema como um todo.

A trama pode ser dividida nos seguintes elementos:

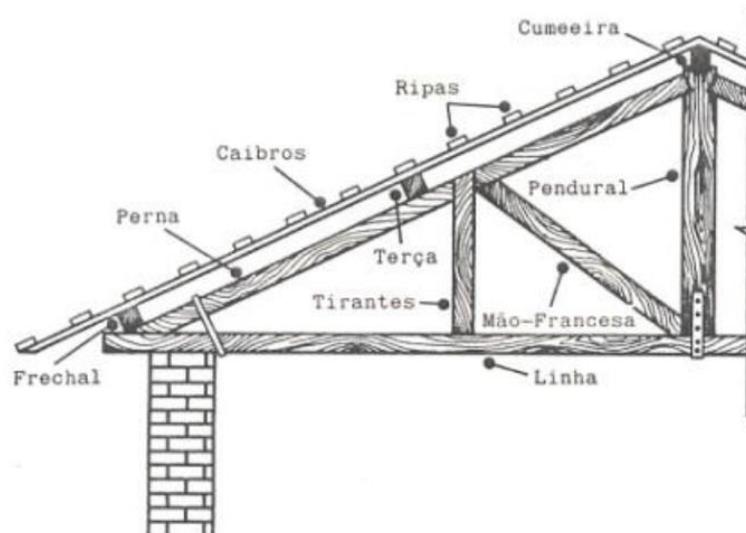
- Ripas: peças onde se apoiam as telhas, cujos esforços são transmitidos aos caibros;
- Caibros: apoio das ripas, cujos esforços são transferidos às terças;
- Terças: cujas finalidades principais são resistir aos esforços transmitidos pelos caibros e travar as tesouras, as quais se localizam entre a cumeeira e o frechal;
- Frechal: Primeira terça de uma tesoura.

As tesouras são formadas pelos seguintes componentes (FLACH, 2012):

- Tirante: Responsável por suportar os esforços de tração da tesoura, sendo uma peça diagonal responsável também pelo travamento do elemento;
- Pendural: Serve para distribuição dos esforços no telhado, situado na vertical;
- Linha: alinhamento da tesoura, recebendo seus esforços e transmitindo para a estrutura;
- Escora ou mão francesa: útil para distribuição de carga do telhado;
- Perna: é o elemento que suporta as terças e também responsável pela inclinação do telhado.

Além destes elementos existe ainda a cumeeira, que é o ponto mais alto do telhado ao qual são fixados os caibros.

Uma representação completa destes elementos pode ser encontrada na figura 18.

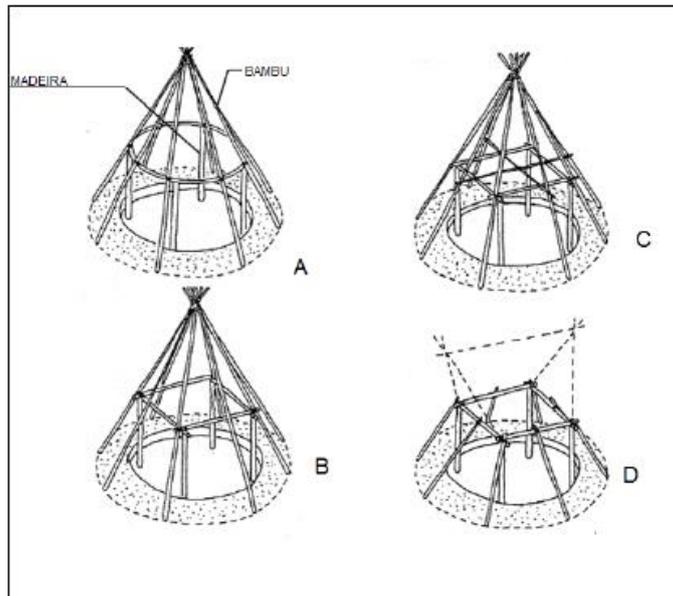


**Figura 18: Elementos da cobertura**  
**Fonte: Bastos (2011).**

### 2.3.2. Bambu em telhados

O uso do bambu remete a regiões onde este cresce naturalmente, sendo o primeiro material de construção desde os primórdios da humanidade, devido a sua facilidade de uso e disponibilidade. Nas construções mais tradicionais é utilizado de forma crua, ou seja, em seu formato roliço, com os colmos inteiros, sem réguas e aparelhamentos, possibilitando que qualquer pessoa o faça (PADOVAN, 2010).

Em se tratando do uso do bambu em coberturas, pode-se dizer que de acordo com a forma e a disposição deste elemento consegue-se identificar as diferentes culturas. Sendo que a tecnologia precursora tratava de um simples empilhamento, em forma cônica, das varas de bambu ou madeira, criando um prolongamento lateral que era utilizado como parede. Estes aspectos podem ser identificado nas primeiras construções japonesas, como identifica a figura 19.



**Figura 19: Esquema das primeiras coberturas em bambu**  
**Fonte: Lopez (2003).**

Estas técnicas evoluíram com o passar do tempo e têm-se hoje toda uma gama de estruturas de cobertura em bambu, como descrito anteriormente, sendo possível realizar a identificação dos padrões culturais de acordo com o formato e tratamento deste elemento da estrutura. Como exemplo, as figuras 20 e 21 referem-se a uma construção chinesa e uma da indonésia, duas culturas orientais, sendo semelhantes em alguns costumes, técnicas construtivas e, matérias-primas disponíveis.



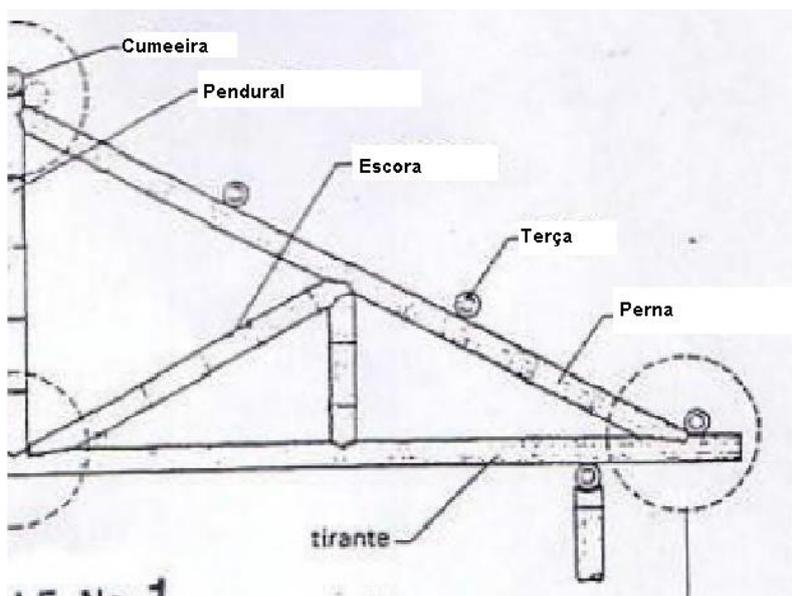
**Figura 20: Tradicional casa chinesa em bambu**  
**Fonte: Liu (2009).**



**Figura 21: Casa de Toradja, na Indonésia**  
**Fonte: Calphotos.berkeley.edu**

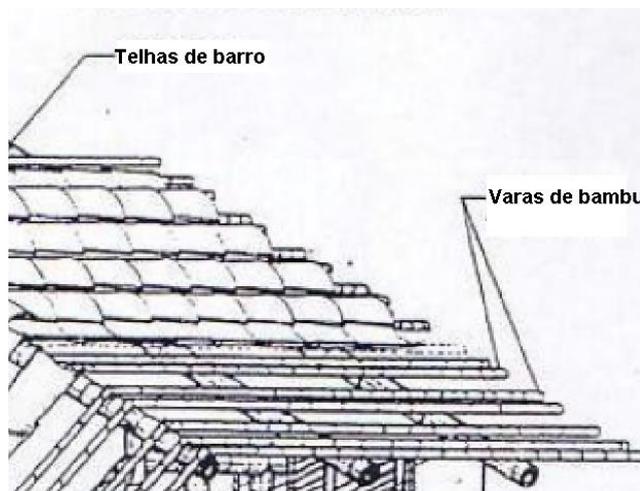
As estruturas de cobertura em bambu evoluíram junto possibilitando a execução de grandes vãos com a segurança estrutural garantida. Como exemplo, na China existem pontes com a utilização de varas de 30cm de diâmetro vencendo um vão de 100m (PADOVAN, 2010).

Souza (2002) afirma que o telhado pode ser executado em bambu seguindo o mesmo princípio da estrutura convencional. Para a autora, as construções tradicionais com bambu possuem vários exemplos de edificações que serviram de base e inspirações para o desenvolvimento tecnológico de construções contemporâneas. A figura 22, retirada do manual de construção com bambu de Hidalgo Lopez é um exemplo.



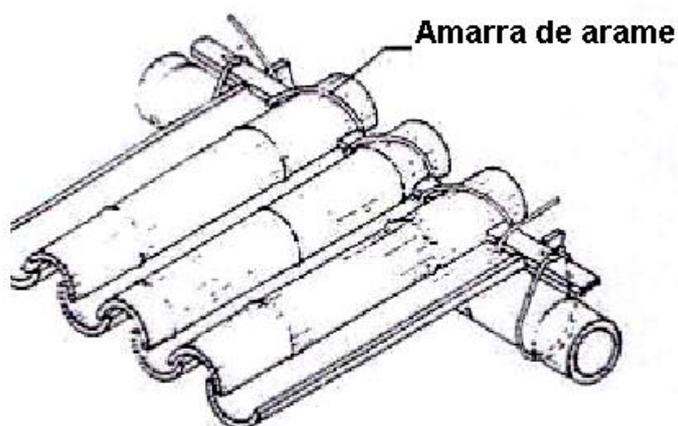
**Figura 22: Elementos de uma treliça em bambu**  
**Fonte: López (1981).**

Nota-se que todos os elementos das treliças em madeira se fazem presentes, com exceção das ripas as quais não são necessariamente presentes nas estruturas em bambu, conforme mostra a figura 23.

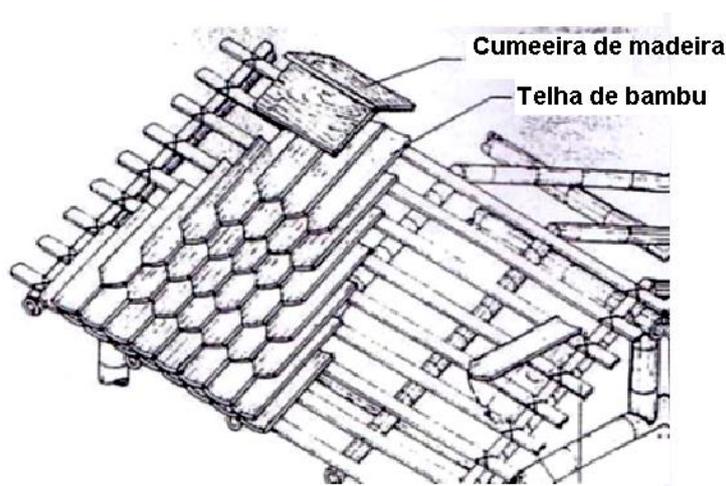


**Figura 23: Detalhes das ripas**  
**Fonte: López (1981).**

Estes sistemas de cobertura podem receber os mesmos tipos de telhas utilizados para as coberturas tradicionais. Além do mais, pode-se utilizar o próprio bambu como telha, técnica já milenar nos países asiáticos. As formas mais comuns são a do corte das varas, formando como se fossem duas calhas, as quais são sobrepostas em sentidos diferentes e fixadas às estruturas auxiliares. Outra possibilidade é a execução de telhas chatas de bambu, conforme exemplificam as figuras 24 e 25.



**Figura 24: Telhas de bambu utilizando a vara inteira**  
**Fonte: López (1981)**



**Figura 25: Telhado com telhas chatas de bambu**  
Fonte: López (1981)

Nota-se ainda a grande versatilidade no uso de bambu em coberturas tomando como exemplo o Aeroporto de Barajas em Madri, na Espanha, figura 26 a qual demonstra que o bambu pode ainda ser utilizado aliando seu desempenho estrutural e arquitetônico, resultando nesta obra.



**Figura 26: Cobertura do aeroporto de Barajas - Espanha**  
Fonte: Corbo (2015)

Um ponto, em que se deve ter o cuidado, em relação a construção de estruturas de bambu para coberturas, é a questão das ligações, as quais devem ser executadas e projetadas de forma correta. Por outro lado, a grande flexibilidade dos bambus fornecem ótimos resultados, além de que, mesmo coberta com telhas, uma estrutura de cobertura em bambu pode apresentar peso em torno de 35 a 45Kg/m<sup>2</sup> (OLIVEIRA, 2013), enquanto as estruturas em madeira superam os 55kg/m<sup>2</sup> com facilidade.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Pesquisa pode ser considerada todo procedimento racional e sistemático em que se procurem respostas para problemas previamente levantados, sendo constituída por várias fases desde a formulação de um problema, até a apresentação de seus resultados (GIL, 2007).

A ciência é um campo de constante mudança e inovação, inovação esta provinda, não somente da descoberta de materiais e tecnologias, mas também de uma redescoberta, explorando, por exemplo, possibilidades para utilização de materiais da natureza com pouco ou nenhum processamento, em especial pensando no momento em que a sustentabilidade se encontra em evidência.

O presente trabalho, por apresentar resultados quantitativos, ou seja, as amostras estudadas podem ser consideradas representativas da população, sendo tomadas como se constituíssem um retrato total da população alvo da pesquisa, classifica-se como quantitativa Fonseca (2002). Além de centrar-se na objetividade e de que “recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc”.

De acordo com Gil (2007) esta pesquisa pode ser classificada quanto aos objetivos em exploratória, pois, para este “a grade maioria destas pesquisas envolve: levantamento bibliográfico”. Confirmam-se estes pré-requisitos, pois a pesquisa em questão pretende proporcionar maior familiaridade com o uso de bambu na construção civil, através de levantamentos bibliográficos a respeito dos estudos realizados sobre a planta.

Pode-se também considerá-la uma pesquisa descritiva. Segundo Triviños (1987), a pesquisa descritiva necessita que o investigador conheça uma série de informações sobre seu alvo de estudo, pretendendo descrever fatos e fenômenos de determinada realidade.

Quanto aos procedimentos, classifica-se como bibliográfica e de campo. Fonseca (2002) define pesquisa bibliográfica como aquela realizada a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas por meio de livros, artigos, jornais, páginas de websites.

Já a pesquisa de campo é aquela caracterizada pelo fato da coleta de dados ser feita, além de forma bibliográfica e documental, pelo meio de atividades e pessoas (FONSECA, 2002).

### 3.2. ETAPAS DO ESTUDO

Primeiramente a espécie será ensaiada para obtenção de suas propriedades físicas e mecânicas, segundo ensaios padronizados e descritos na sequência.

Após, essas informações serão utilizadas para dimensionamento de terças compostas pela espécie de bambu supracitada.

#### 3.2.1. Caracterização da espécie *Phyllostachys aurea*

A caracterização das propriedades física e mecânicas da espécie de bambu *Phyllostachys aurea*, se dará pelos ensaios de:

- Densidade aparente;
- Flexão;
- Compressão;
- Cisalhamento;

Devido a inexistência de normas brasileiras, e a pequena quantia de internacionais a respeito do material, adotou-se a norma de madeira NBR7190 (ABNT, 1997) com algumas adaptações, bem como ensaios de normas internacionais, sendo elas a IS7864 (BIS, 2008), indiana e a ISSO22156 (IS, 2016).

##### 3.2.1.1 Amostras

Dentre os materiais utilizados na realização dos ensaios, têm-se apenas varas de *Phyllostachys aurea*. Para a determinação do número mínimo de amostras para cada ensaio foi utilizada a NBR 7190 (ABNT, 1997), a qual indica que, para madeiras sem estudos realizados ou pouco utilizados é necessário um mínimo de 12 amostras a serem ensaiadas em cada procedimento, sendo que a resistência característica para cada ensaio pode ser obtida usando a equação 10:

$$f_k = f_{0,05} \left( 1 - \frac{2,7 \frac{s}{f_m}}{\sqrt{n}} \right) \quad (10)$$

Onde:

$f_k$  – Resistência característica;

$f_m$  – Valor médio da resistência característica;

$s$  – desvio padrão dos resultados;

$f_{0,05} = f_m - 1,645s$  = quantil de 5% da propriedade mecânica;

$n$  – número de amostras ensaiadas.

BREMER (2009) indica ainda que os valores de  $f$  devem ser dispostos de forma crescente e, caso o número de amostras seja ímpar despreza-se o maior valor. A autora salienta ainda que o valor de  $f_{wk}$ , força de resistência característica, pode ser adotado como 0,7 do  $f_m$ .

Após o corte, as varas foram transportadas até a universidade e deixadas para secar no canteiro de obras coberto, no bloco J, até que estivessem nas condições necessárias para a realização dos ensaios, ou seja, com um teor de umidade próximo a 12%, conforme indica a NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram retirados corpos de prova (CP) de duas regiões diferentes: base e meio. Este procedimento é adotado devido às diferenças na estrutura dos colmos destas regiões o que implica diretamente em suas propriedades físicas e mecânicas. O topo das varas foi desconsiderado, pois este não é indicado para uso estrutural devido a sua reduzida seção e resistência comparada ao restante da vara de bambu.

### 3.2.1.2 Determinação da umidade

Para a aferição da umidade das varas, foram tomadas amostras aleatoriamente. Estas são levadas à estufa, sendo as massas aferidas por meio de uma balança com precisão de 0,01g, e a amostra deve permanecer na estufa sob a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24h, após este período a massa do corpo de prova (CP) é novamente aferida. O teor de umidade então será:

$$h = \frac{m - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad (12)$$

Em que:

$h$  – Teor de umidade, em %;

- m – Massa úmida, em g;
- m<sub>o</sub> - Massa seca em estufa, em g.

### 3.2.1.3 Determinação das propriedades físicas

#### 3.2.1.3.1 Densidade aparente

Para o ensaio de densidade aparente, a norma indiana IS6874 (BIS, 2008) pede que sejam ensaiados corpos quadrados com dimensões de 25x25mm, sendo estes da espessura da parede do colmo da qual foi retirada. Porém, este teste fornece a densidade aparente do bambu ainda verde, valor não ideal para uso nos cálculos do dimensionamento de peças estruturais.

Decidiu-se aqui por uma adaptação a fim de se obter não apenas a densidade aparente da madeira em si, mas a do colmo de bambu como um todo, incluindo os nós de ambos os lados.

O espécime é pesado em uma balança com precisão de 0,01g, então o volume deste material é obtido através do princípio de Arquimedes, descoberto pelo matemático grego de mesmo nome, no século III a. C. Em que o volume deslocado por um sólido irregular qualquer é exatamente igual ao volume do próprio sólido (FORGAÇA, 2016).

Para obtenção do volume da amostra, a mesma é imersa em um recipiente contendo água até a sua borda. Ao ser inserido neste recipiente, a amostra desloca uma quantia de água para fora do mesmo, a qual deve então ser medida e o volume correspondente, obtido a partir da fórmula básica de densidade:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (11)$$

Sendo:

- m - massa de água, em g;
- V - volume de líquido deslocado, em cm<sup>3</sup>;
- ρ – densidade da água, em g/cm<sup>3</sup>.

Considera-se então  $\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$  e encontra-se o valor do volume deslocado V, correspondente ao volume da amostra.

Para a densidade aparente do *Phyllostachys aurea* as variáveis passam a ser a massa do CP e o volume de líquido deslocado. Então basta dividir a

massa aferida inicialmente pelo volume de líquido deslocado. O tamanho das amostras dependerá do comprimento do colmo.

#### 3.2.1.4 Determinação das propriedades mecânicas

##### 3.2.1.4.1 Resistência ao cisalhamento

Em peças de bambu, esforços que provocam o deslizamento de um plano sobre o outro podem ocorrer de forma paralela, oblíqua ou transversalmente às fibras, de acordo com a configuração fibrosa da planta (CRUZ, 2002), ou através de defeitos preexistentes, geralmente compostos por fendas e fissuras de origens variadas. Os valores de resistência ao cisalhamento são tidos como mínimos quando ocorrem paralelamente as fibras da planta, sendo esta a posição analisada neste ensaio.

De acordo com a norma indiana IS 6874 (BIS, 2008), utilizada como base para a INBAR (2001) e a ISO 22157 (IS, 2004), os corpos de prova para realização do ensaio de cisalhamento paralelo as fibras devem ser retirados dos colmos que não sofreram danos durante o ensaio de flexão estática, sendo seu diâmetro externo e a espessura de sua parede aferidas de acordo com o item 5.3.2 da norma, com precisão de 1mm e 0,1mm para o diâmetro e espessura das paredes, respectivamente, de forma a se obter os valores através da média de 4 medidas para cada propriedade. E, o comprimento do CP deve ter medida igual ao diâmetro externo.

Para a realização do ensaio, a carga deve ser aplicada ao CP através de chapas de aço em forma de triângulo, opostos um ao outro. No total são quatro chapas, duas posicionadas ao topo do CP e duas na base, ambas de forma perpendicular umas às outras. A carga deve ser aplicada em ambas as direções fornecendo, conforme a figura 27, quatro áreas de cisalhamento.

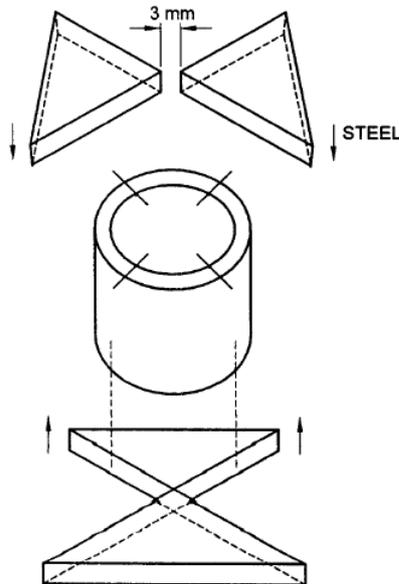
Para a realização do ensaio, pode ser aplicada uma força não maior que 1kN a fim de fornecer a estabilidade das peças. A carga deve ser aplicada a uma velocidade constante de 0,01mm/s e, ao final do ensaio deve-se anotar o número de superfícies cisalhadas.

A força de cisalhamento última, em MPa, será então obtida pela equação 13:

$$\sigma_{v,ult} = \frac{F_{ult}}{L \times t} \quad (13)$$

Onde:

- $F_{ult}$  – carga máxima do CP, em N;
- $t$  – espessura média da parede do CP medida nos quatro pontos, em mm;
- $L$  – comprimento médio do CP, tendo como base os quatro pontos onde a espessura da parede foi medida, em mm.



**Figura 27: Aparelho para teste de cisalhamento  
IS 6874 (2008)**

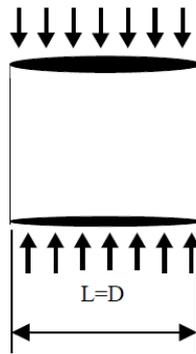
#### 3.2.1.4.2. Resistência à compressão

De acordo com a IS 6874 (BIS, 2008), os corpos de prova devem ser tomados do espécime utilizado para determinação do ensaio de flexão simples, de forma a obter-se colmos internos que não tenham sofrido danos demasiados após o referente ensaio, sendo a altura do CP igual ao seu diâmetro externo, tomando-se também a espessura da parede do espécime.

Com o CP nivelado em ambos os lados, leva-se este até a máquina para execução do ensaio, a qual deve ser dotada de equipamentos auxiliares que garantem igual distribuição dos esforços em toda a superfície das paredes do CP, conforme figura 28. Indica-se a utilização de um material, como por exemplo, as peças de neopreme utilizadas em corpos de prova de concreto, entre o CP e a chapa de aço da máquina a fim de reduzir a fricção entre os componentes.

Durante a realização do ensaio pode ser aplicada uma força de 1kN ao CP para estabilização deste na máquina de testes. Feito isto, durante o ensaio

deve ser aplicada uma força de 0,01mm/s ao CP até seu eventual rompimento, a força neste instante deve ser anotada.



**Figura 28: Esquema do CP de ensaio à compressão**  
**Fonte: CRUZ (2002)**

Assim, a tensão máxima do CP pode ser obtida pela equação 14:

$$\sigma_{c,ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (14)$$

Onde:

- $F_{ult}$  – Carga na ruptura, em N;
- $A$  – Área do CP, em mm<sup>2</sup>

$$A = \frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2t)^2] \quad (15)$$

- $D$  – Diâmetro externo do CP, em mm;
- $t$  – Espessura das paredes, em mm.

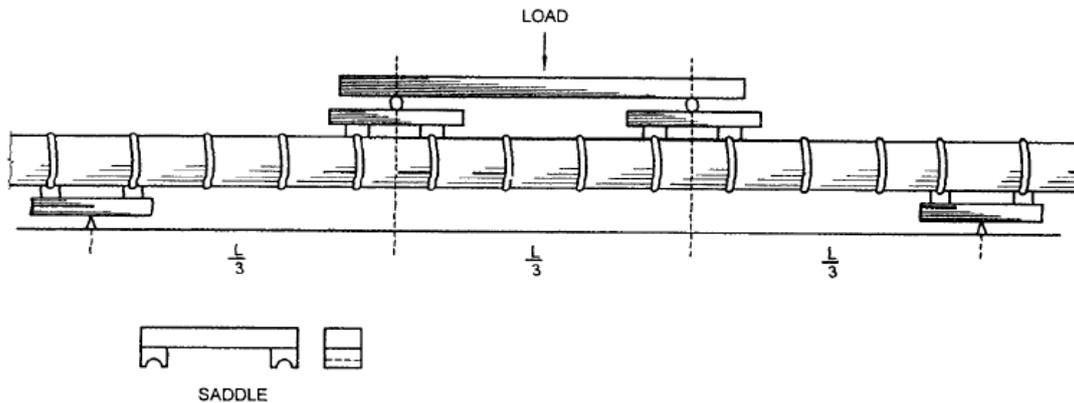
#### 3.2.1.4.3. Flexão simples

Para o teste a flexão a IS 6874 (BIS, 2008) indica que o comprimento da amostra seja de pelo menos 30 vezes o diâmetro externo no meio do CP mais um metro. Alguns autores apontam ainda o comprimento de pelo menos 3m para ensaios à flexão de varas de bambu, aproximando mais os valores teóricos de valores de utilização das varas.

O equipamento utilizado deve ter precisão de pelo menos 100N para a carga e de 1mm para a deflexão.

Trata-se de um ensaio de flexão a quatro pontos, estes, localizados sobre os nós, no qual devem ser montados dispositivos que garantam a distribuição das forças para os dois lados deste nó de forma igualitária. Uma representação do ensaio e do posicionamento do CP pode ser observado na figura 29.

A aplicação das forças deve atender a uma velocidade de 0,5 mm/s, sendo que a cada 500N de incremento de força deve-se anotar a deformação no centro da peça e, caso surjam mudanças bruscas na deflexão, a carga nestes pontos deve ser tomada, assim como a carga e deflexão ao rompimento do CP. A forma de rompimento e local também deve ser analisado.



**Figura 29: Ensaio a Flexão com 4 pontos  
IS 6874 (2008)**

Se possível, após o término do teste os diâmetros externos e espessura das paredes nos pontos de aplicação da força devem ser tomados. Para posterior cálculo do momento de inércia da peça, dado pela equação 16:

$$I = \frac{\pi}{64} [D^4 - d^4] \quad (16)$$

Onde:

- D – diâmetro externo do CP, em mm;
- t – espessura das paredes, em mm.
- d – diâmetro interno, em mm.

A tensão de resistência à flexão pode ser obtida pela equação 17:

$$\sigma_{f,ult} = \left[ \frac{1}{6I} \left( FL \frac{D}{2} \right) \right] \quad (17)$$

Onde:

- I – momento de inércia em mm<sup>4</sup>;
- F – força anotada na ruptura, em N;
- L – comprimento efetivo, em mm;
- D – diâmetro externo do CP.

Por fim, o módulo de elasticidade pode ser obtido, em MPa através da equação 18:

$$E = \frac{23sL^3}{1296I} \quad (18)$$

Onde:

- L – vão livre, em mm;
- I – momento de inércia em mm<sup>4</sup>;
- s – declive de uma região linear do diagrama carga x deformação, em N/mm.

### 3.2.1.5. Propriedades geométricas

#### 3.2.1.5.1 Momento de inércia

Para determinação da inércia dos colmos, Barbosa (2016) indica primeiramente a aferição dos diâmetros externos e espessura das paredes em ambas as extremidades e, a partir disto calcula-se o diâmetro externo médio  $D_m$  e a espessura média das paredes,  $t_m$ , supondo um formato cônico. O diâmetro médio interno é então dado pela equação 19.

$$d_m = D_m - 2t_m \quad (19)$$

Para a determinação do momento de inércia geométrico utiliza-se então a equação 20:

$$I_{geo} = \pi(D_m^4 - d_m^4) \quad (20)$$

Devido ao fato da distribuição das fibras ao longo da parede, indicar uma concentração de fibras nas vizinhanças da parede externa, o momento de inércia é cerca de 30% maior que o calculado para um tubo de seção transversal homogêneo. Porém, a variação da densidade do material ao longo da espessura da parede diminui o momento de inércia em cerca de 10%. Desta forma a inércia física é dada pela multiplicação de  $I_{geo}$  por estes dois fatores.

$$I = 1,3 \cdot 0,9 \cdot I_{geo} \quad (21)$$

Barbosa (2014) comenta que, ao utilizarem-se vários colmos para composição de um elemento estrutural, soma-se o valor das inércias individuais, a menos que se garanta o comportamento do conjunto como elemento único.

#### 3.2.1.5.2. Área

Á área do colmo pode ser obtido conforme equação 22, sendo os valores de  $D_m$  e  $d_m$  obtidos conforme 2.2.1.4.2:

$$A_{geo} = \frac{D_m^2 - d_m^2}{4} \quad (22)$$

Devido às diferenças nas concentrações de material ao longo da espessura das paredes, considera-se uma diminuição da área conforme 23:

$$A = 0,95A_{geo} \quad (23)$$

### 3.2.1.5.3. Conicidade

A conicidade de um elemento de bambu pode ser obtida pela relação entre o maior e o menor diâmetro externo e com seu comprimento, conforme equação 24:

$$\delta = \frac{D_{max} - D_{min}}{L} \quad (24)$$

### 3.2.2. Dimensionamento da terça

Para o dimensionamento da terça de uma estrutura de madeira é interessante primeiro realizar o levantamento de algumas variáveis. LOGSDON (2002) propõem um pequeno roteiro simplificado para o cálculo de estruturas de telhados.

**Definir o esquema geral:** Esquemática de como será o telhado, contendo dimensões básicas e a forma dos elementos do telhado. Neste passo é necessário saber o tipo de telha escolhida, bem como a área total a ser coberta.

#### **Definir os Carregamentos:**

O carregamento permanente de um telhado é composto pelo peso do madeiramento e das telhas.

Segundo a NBR7190 (ABNT, 1997), item 5.5.2, o peso do madeiramento é estimado pelo produto entre o peso específico da madeira e seu volume, acrescidos de 3% a fim de se considerarem as peças metálicas das ligações (Parafusos e/ou pregos). Vale salientar que o peso específico utilizado aqui se refere à madeira com teor de umidade de 12%.

O peso próprio das telhas pode ser obtido a partir das informações do fabricante, o qual fornece o peso de cada telha e a área coberta pela mesma, bem como algumas informações adicionais como o tamanho das galgas.

Já, o carregamento variável depende da água absorvida pelas telhas e dos esforços causados pelo vento na estrutura.

HELLMEISTER (1977), afirma que o peso molhado das telhas dificilmente supera 25% de seu peso original, podendo ser então calculado com uma majoração deste valor no peso inicial das telhas.

Quanto ao vento, é necessária a análise de pelo menos dois carregamentos, denominados como vento de sucção e vento de pressão. Os esforços originários destes são obtidos a partir da “NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações” da ABNT (1988).

**Definir esforços nas barras:** Para cada carregamento descrito acima se obtém os esforços em cada elemento. E, para a obtenção dos esforços de cálculo aplicando as combinações de ações conforme a NBR7190 (ABNT, 1997).

**Dimensionamento:** Por fim, fazem-se as verificações se o elemento de bambu com as dimensões adotadas é suficiente para o tipo de telhado e telha proposto.

Para o dimensionamento deste elemento serão adotados os valores e considerações retirados das notas de aula da disciplina de Construções em Madeira ministrada por LACERDA (2015). Vale-se comentar aqui que, como o objetivo é o estudo de substituição da terça de madeira pela espécie de bambu estudada, os demais elementos não serão recalculados, sendo adotados os valores obtidos na disciplina.

Utilizando o método dos estados limites últimos deve-se garantir que a estrutura não sofra perda de equilíbrio como corpo rígido, sofra ruptura de uma peça ou ligação e tenha instabilidade no regime elástico. Assim, a condição de segurança é dada por:

$$S_d \leq R_d \quad (25)$$

Onde:

$S_d$  – solicitação de cálculo;

$R_d$  – resistência de cálculo.

A combinação de ações nos estados limites últimos, será então fornecida pelas combinações últimas normais, que de acordo com a NBR7190 (ABNT, 1997) vem da equação 26, a seguir.

$$F_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{qi} Q_i + \sum \gamma_{qj} \psi_{0j} Q_j \quad (26)$$

Em que:

$F_d$  – força solicitante de cálculo;

$\gamma$  – coeficientes de majoração;

$\psi$  – coeficiente de minoração das ações variáveis secundárias;

G – ações permanentes;

$Q_i$  – ação variável preponderante;

$Q_j$  – ações variáveis secundárias.

Os valores dos coeficientes de majoração  $\gamma$  e  $\psi$  são obtidos das tabelas 2 a 4 abaixo, correspondentes às tabelas 2, 3, 4 e 5 da NBR9170 (ABNT, 1997).

**Tabela 2 - Coeficientes de majoração de forças permanentes de pequena variabilidade**

Combinações	Para efeitos <sup>1</sup>	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

<sup>1</sup> Podem ser usados indiferentemente os símbolos  $\gamma_g$  ou  $\gamma_G$

Fonte: ABNT (1997)

**Tabela 3 – Coeficientes de majoração de forças permanentes de grande variabilidade.**

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: ABNT (1997)

**Tabela 4 – Coeficientes de majoração de forças variáveis**

Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos de temperatura
Normais	$\gamma_Q = 1,4$	$\gamma_\epsilon = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_Q = 1,2$	$\gamma_\epsilon = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_Q = 1,0$	$\gamma_\epsilon = 0$

Fonte: ABNT (1997)

**Tabela 5 - Coeficientes de minoração das ações secundárias**

Ações em estruturas correntes	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 <sup>1)</sup>
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 <sup>1)</sup>
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Admite-se  $\psi_2 = 0$  quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.

**Fonte: ABNT (1997)**

Com a obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização e a determinação das resistências características  $f_{wk}$  pode-se obter as resistências de cálculo, minoradas para garantir a segurança das estruturas, pois assim garante-se que a capacidade máxima do material não seja atingida. As resistências de cálculo são fornecidas pela equação 27:

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (27)$$

Onde:

$f_{wd}$  – resistência de cálculo;

$f_{wk}$  – resistência característica;

$\gamma_w$  – coeficiente de minoração das propriedades;

$k_{mod}$  – coeficiente de modificação, considera efeitos desprezados por  $\gamma_w$ .

O coeficiente de modificação  $k_{mod}$  depende do produto de três coeficientes, a partir da equação 28:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (28)$$

Em que o coeficiente parcial  $k_{mod,1}$  leva em consideração a classe de carregamento e o tipo de material empregado, de acordo com a tabela 10 da NBR7190 (ABNT,1997).

O coeficiente parcial  $k_{mod,2}$  considera a classe de umidade do material, obtido pela tabela 11 da NBR7190 (ABNT, 1997).

O coeficiente parcial  $k_{mod,3}$  depende da qualidade do colmo, o que pode ser também função da espécie, do manejo do bambuzal, das fases por que passa após o corte. Para colmos secos em boas condições, preferencialmente de plantações manejadas, os valores da tabela 7 (BARBOSA, 2014).

Para a NBR7190 (ABNT, 1997) é considerada a classe da madeira, ou seja, se esta é de primeira ou segunda categoria, sendo que, para uma madeira de primeira categoria o  $k_{mod,3} = 1,0$  e para uma madeira de segunda categoria,  $k_{mod,3} = 0,8$ . Para ser considerada madeira de primeira categoria esta deve ser isenta de imperfeições geométricas identificadas visualmente, bem como de nós.

A tabela 6 apresenta os valores propostos por Barbosa (2014) uma proposta de norma adaptada da ISO 22156 (IS, 2004).

**Tabela 6- Valores de  $K_{mod,1}$**

<b>Tipo de ação</b>	<b><math>K_{mod,1}</math></b>
Permanente	0,6
Longa duração	0,7
Média duração	0,8
Curta duração	0,9
Instantânea	1,0

**Fonte: Adaptado de Barbosa (2014)**

O coeficiente  $K_{mod,2}$  depende da umidade do ambiente em que é inserida a estrutura (BARBOSA, 2014), dado por:

$$k_{mod,2} = 1,0 \quad \text{se} \quad UR < 75\%$$

$$k_{mod,2} = 0,9 \quad \text{se} \quad UR \geq 75\%$$

**Tabela 7 - Valores de  $K_{mod,3}$**

<b>Espécie de bambu</b>	<b><math>K_{mod,3}</math></b>
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1,0
<i>Dendrocalamus asper</i>	1,0
<i>Guadua Angustifolia</i>	1,0
<i>Phyllostachys heterocyclus pubescens-Mosó</i>	1,0
<i>Phyllostachys bambusoides-Matake</i>	1,0
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,8

**Fonte: Adaptado de Barbosa (2014)**

Os coeficientes para ponderação das resistências  $\gamma_w$ , retirados da NBR7190 (ABNT, 1997) estão na tabela 8.

**Tabela 8 - Coeficientes de minoração das resistências**

Compressão paralela às fibras	1,4
Tração paralela às fibras	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	1,8

**Fonte: ABNT (1997)**

### 3.2.2.1 Estudos do vento

Para o dimensionamento de telhados é importante à realização de um estudo do vento, em pelo menos duas situações, uma em que ele age como força de sucção e outra em que este age como força de pressão no telhado.

Para este estudo utiliza-se a NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 1988), pode-se ainda ser utilizado um roteiro adaptado de MOLITERNO (2010) em que as forças estáticas de vento são obtidas seguindo os passos a seguir:

Para a velocidade característica do vento ( $V_k$ ), usa-se primeiramente a velocidade básica do vento ( $V_o$ ), obtida do gráfico das isopletas e, corrigida a partir de fatores de variação da velocidade básica  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ .

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_o \quad (29)$$

Em que:

$S_1$  – fator topográfico;

$S_2$  – fator de rugosidade do terreno;

$S_3$  – fator estatístico (depende da utilização do espaço e do risco).

Com a determinação da velocidade característica do vento é possível então obter a pressão dinâmica do mesmo ( $q$ ), através da equação 30:

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (30)$$

Para determinação de pressão ou sucção devido ao vento é necessária a realização da análise de alguns fatores, dentre estes:

- Forma e proporção das dimensões da construção;
- Localização das aberturas (barlavento e sotavento);
- Saliências e pontos angulosos (beirais, chaminés, etc)
- Situação de edifícios e obstáculos circunvizinhos (turbulência).

Os coeficientes aerodinâmicos devidos à pressão externa, como os resultantes dos pontos acima são denominados então por “pressão e forma externos”, sendo seus efeitos considerados nas paredes e telhados.

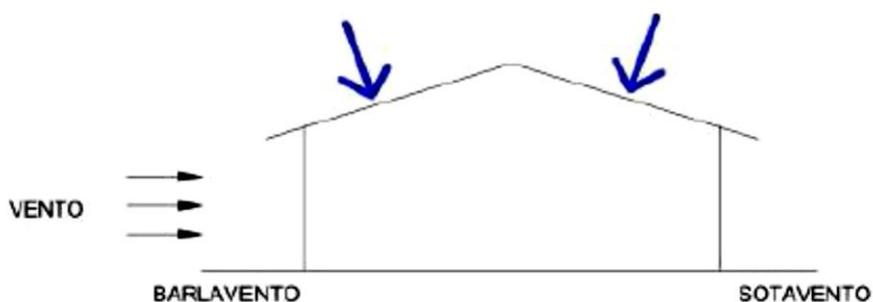
Existem ainda coeficientes oriundos da pressão interna dos edifícios, geralmente considerada uniforme e dada através do coeficiente de pressão interna ( $C_{pi}$ ).

São então computados os efeitos decorrentes das ações que provocam os casos mais desfavoráveis à estrutura, chamados de “efeitos de sucção” e “efeitos de sobre pressão” conforme já mencionado.

É importante ressaltar que estes efeitos são sempre considerados de maneira perpendicular à superfície do telhado MOLITERNO (2010). As figuras 30 e 31 demonstram os efeitos de pressão e sucção causados pelo vento.

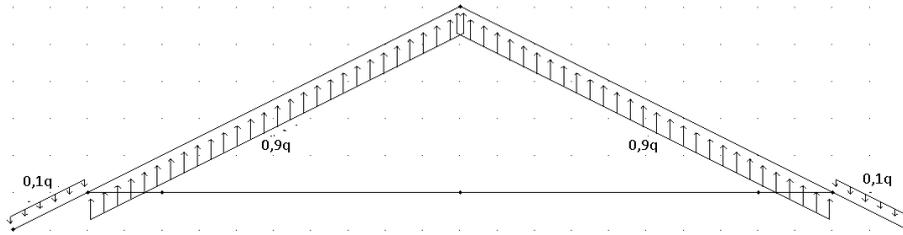


**Figura 30: Efeitos de sucção**  
Fonte: LACERDA (2015)

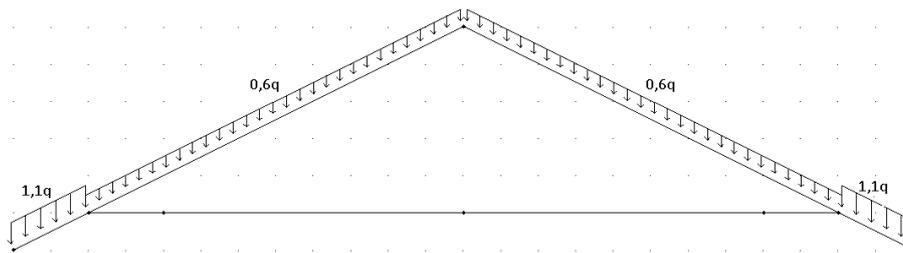


**Figura 31: Efeitos de sobrepressão**  
Fonte: LACERDA (2015)

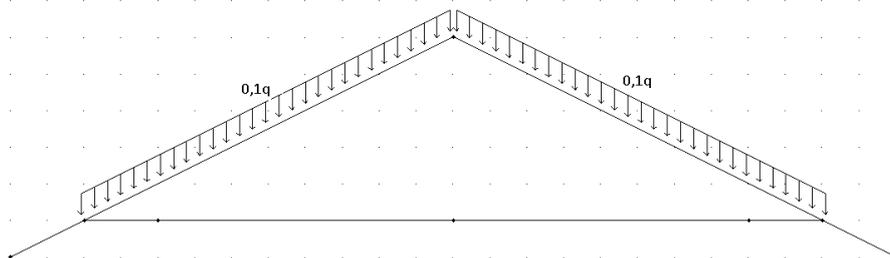
Os cálculos realizados em sala resultaram na seguinte distribuição de pressões conforme as figuras 32, 33 e 34, para as diferentes ações do vento em diferentes angulações de incidência, sendo a carga ‘q’ indicada nestas figuras correspondente a 80kgf/m<sup>2</sup>.



**Figura 32: Vento de sucção 90°**  
**Fonte: Própria**



**Figura 33: Vento de sucção 0°**  
**Fonte: Própria**



**Figura 34: Vento de pressão 90°**  
**Fonte: Própria**

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram retirados do bambuzal apresentado na figura 35, sendo selecionadas as varas com maior diâmetro e mais regulares, ou seja, sem imperfeições. Porém, devido ao fato de ser um bambuzal sem manejo, muitas varas apresentam grandes imperfeições, como colmos defeituosos, observadas na figura 36, bem como infestação de pragas como formigas que furam os colmos, gerando sua deterioração, além de ser explorado pelos moradores locais. Sendo assim, poucas amostras tiveram comprimento útil necessário para ensaio de base e meio, cujo comprimento deve obedecer à relação da equação 31:

$$L = 30D_m + 1 \quad (31)$$

Onde:

L – Comprimento do CP, em m;

$D_m$  – O diâmetro médio do CP, em m.



**Figura 35: Bambuzal de onde foram retiradas as amostras**  
**Fonte: Própria**



**Figura 36: Deformações nas varas**  
**Fonte: Própria**

A umidade dos colmos foi medida durante a preparação das varas para o ensaio à flexão simples, e dos corpos de prova para os ensaios de densidade aparente. Os corpos de prova para aferição da umidade das varas foram retirados aleatoriamente das regiões em que havia sobras no comprimento dos corpos de prova para o ensaio à flexão, sendo assim, não apresentam medidas padronizadas. Algumas amostras foram deixadas com nós para observação da diferença destes elementos na umidade das varas de bambu. Na figura 37 são apresentados os corpos de prova para o ensaio a umidade e a figura 38 traz os corpos de prova após sua retirada da estufa.



**Figura 37: Corpos de prova utilizados na análise do teor de umidade, antes da secagem.**  
**Fonte: Própria**



**Figura 38: Corpos de prova utilizados na análise do teor de umidade após secagem.**  
**Fonte: Própria**

Pode-se observar na figura 36 que, após a secagem em estufa para a determinação de umidade, os colmos sem a presença de nós racharam, fato este ocasionado pela secagem forçada que, quando muito rápida, como no caso da estufa, gera uma contração excessiva que pode levar os colmos a fissuração (NUNES, 2005). Os resultados do teor de umidade dos colmos aferidos podem ser observados na tabela 9.

**Tabela 9 - Teor de umidade dos colmos**

<b>Amostra</b>	<b>m(g)</b>	<b>m<sub>o</sub>(g)</b>	<b>%h</b>
1	36,20	31,07	14,17
2	96,00	51,99	45,84
3	54,80	42,06	23,25
4	31,00	27,08	12,65
5	41,30	36,06	12,69
6	32,90	29,26	11,06
7	36,00	24,89	30,86
8	98,70	82,26	16,66
9	27,30	24,31	10,95
10	24,80	21,36	13,87
11	26,00	23,42	9,92
12	19,80	14,60	26,26
13	59,16	50,53	14,59
14	31,67	27,31	13,77
15	41,77	36,11	13,55
16	45,53	39,51	13,22
17	47,70	40,81	14,44

**Fonte: Própria**

Observa-se que as amostras de número 2, 3, 7 e 12 extrapolaram o valor de 15% de umidade, apesar de estarem nas mesmas condições aparentes que as demais amostras. Tal fato se deve à presença de nós apenas nos referidos corpos de prova e, portanto foi considerado que estes também estão sob as condições necessárias para a execução dos demais ensaios. Os valores extremos obtidos nas amostras 2 e 7 devem-se além da presença de nós, ao fato das regiões de que estes foram retirados ainda não estarem completamente secas, logo era esperado tal discrepância.

#### 4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

Para determinação da densidade os corpos de prova foram retirados da base, meio e topo da vara sempre que possível, visto que algumas varas, devido à presença de imperfeições, não puderam fornecer um colmo inteiro para o ensaio. Podem-se observar na figura 39 os corpos de prova, na figura 40 os equipamentos utilizados no ensaio e, o ensaio em si pode ser observado na figura 41.



**Figura 39: Corpos de prova para ensaio de densidade**  
**Fonte: Própria**



**Figura 40: Equipamentos utilizada no ensaio**  
**Fonte: Própria**



**Figura 41: Execução do ensaio**  
**Fonte: Própria**

Na preparação dos corpos de prova, buscou-se sempre obter colmos inteiros, ou seja, contendo os nós de ambos os lados de forma a impedir que a água ocupasse seus vazios. Porém, em alguns colmos o corte foi realizado antes ou após o nó, devido às limitações para a obtenção dos CP para o ensaio à flexão. Como o ensaio se propôs a analisar a densidade aparente do colmo todo, incluindo o ar, estas aberturas foram seladas com filme plástico, a fim de impedir a entrada de água nos colmos. Os resultados podem ser observados nas tabelas 10, 11 e 12 para base, meio e topo respectivamente.

**Tabela 10 - Densidade aparente dos colmos basais de *Phyllostachys Aurea***

Amostra	m <sub>bambu</sub> (g)	mH <sub>2</sub> O(g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (cm <sup>3</sup> )	d(g/cm <sup>3</sup> )
1B	87,5	167,5	167,5	0,52
2B	92,0	158,0	158,0	0,58
3B	65,5	95,1	95,1	0,69
4B	86,5	112,2	112,2	0,77
5B	98,0	164,2	164,2	0,60
6B	155,0	289,6	289,6	0,54
7B	73,5	146,0	146,0	0,50
8B	53,5	82,9	82,9	0,65
9B	107,5	324,0	324,0	0,33
10B	68,0	117,3	117,3	0,58
14B	52,5	99,8	99,8	0,53
18B	78,5	234,2	234,2	0,34
19B	47,5	97,6	97,6	0,49
22B	51,5	128,4	128,4	0,40

Fonte: Própria

**Tabela 11 - Densidade aparente dos colmos do meio das varas de *Phyllostachys Aurea***

Amostra	m <sub>bambu</sub> (g)	mH <sub>2</sub> O(g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (cm <sup>3</sup> )	d(g/cm <sup>3</sup> )
1M	48,0	104,3	104,3	0,46
3M	43,5	68,6	68,6	0,63
4M	56,0	109,4	109,4	0,51
5M	47,5	94,1	94,1	0,50
6M	128,0	221,6	221,6	0,58
7M	67,0	168,7	168,7	0,40
8M	49,5	81,2	81,2	0,61
9M	87,5	271,7	271,7	0,32
10M	43,5	91,1	91,1	0,48
14M	52,0	105,6	105,6	0,49
15M	43,5	80,1	80,1	0,54
17M	97,5	182,3	182,3	0,53
19M	66,0	150,7	150,7	0,44
22M	78,5	219,5	219,5	0,36

Fonte: Própria

**Tabela 12 - Densidade aparente dos colmos do topo das varas de *Phyllostachys Aurea***

Amostra	m <sub>bambu</sub> (g)	mH <sub>2</sub> O(g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (cm <sup>3</sup> )	d(g/cm <sup>3</sup> )
4T	61,0	263,1	263,1	0,23
9T	99,5	318,1	318,1	0,31
10T	42,0	109,6	109,6	0,38
14T	52,5	119,8	119,8	0,44

Fonte: Própria

Apesar da diferença nos diâmetros, regiões da planta e no comprimento dos colmos, a densidade aparente média destes das regiões, bem como a da vara como um todo foram bem semelhantes, com exceção do topo, com menor densidade, conforme esperado visto que esta parte da planta contém uma menor densidade de fibras. Podem-se observar, na tabela 13, os resultados da densidade aparente média.

A densidade aferida pelo ensaio, para a vara de *Phyllostachys aurea* foi de 0,50g/cm<sup>3</sup>, com desvio padrão de 11%. O peso específico, ignorando os vazios dos colmos, segundo Liese (1998) varia de 0,5 a 0,9 g/cm<sup>3</sup> ao longo da planta, mostrando que, embora as dimensões e o peso dos colmos ao longo da planta variem ao considerarmos o ar interno a estes, sua densidade se mostra sem grandes variações.

**Tabela 13 - Densidade aparente das regiões da planta**

	<b>Base(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Meio(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Topo(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Geral(g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Média</b>	0,54	0,50	0,34	0,50
<b>Desvio Padrão</b>	0,12	0,09	0,09	0,11

**Fonte: Própria**

#### 4.3. FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os corpos de prova para o ensaio à flexão tem seu comprimento determinado pela equação 31 e foram divididos em base e meio/topo, sendo este segundo termo utilizado devido às irregularidades e limitadas dimensões das varas que impossibilitaram a divisão em meio e topo. E, essas características do bambuzal e das varas causaram redução do número de corpos de prova provenientes da região do meio e topo das varas, sendo ensaiadas apenas 6 corpos de prova desta região, resultando em um número de amostras abaixo do mínimo proposto pela NBR7190 (ABNT, 1997), que prevê 12 amostras para caracterização de espécies cujas propriedades são desconhecidas.

Os corpos de prova para este ensaio foram deixados secar ao ar livre e posteriormente serrados de acordo com as dimensões indicadas nas tabelas 14 e 15, sendo as amostras nomeadas com a letra B referentes à base e as nomeadas com a letra M/T referentes ao meio/topo da vara de *Phyllostachys aurea*.

A priori, desejava-se utilizar sensores para a medida da flecha dos colmos durante o ensaio à flexão, figuras 42 e 43. Contudo, o extensômetro existente na universidade apresentam uma limitação de 5cm, e os CPs de bambu apresentaram flechas superiores a 10cm, o que inviabilizou a utilização destes.



**Figura 42: Equipamentos utilizados no ensaio à flexão**  
Fonte: Própria



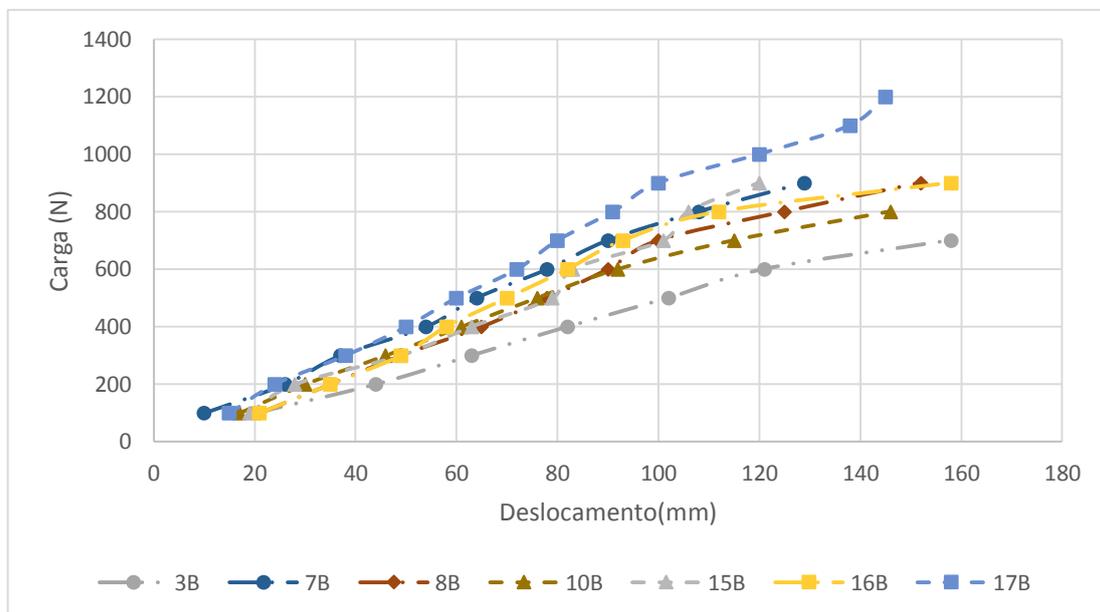
**Figura 43: Detalhe dos extensômetros**  
Fonte: Própria

Para resolver este problema, foi adotada uma metodologia diferente em que, à medida que a força era aplicada ao CP, obedecendo a um intervalo de 100N, era anotado o deslocamento referente à carga através da observação em uma trena posicionada atrás do colmo, conforme figura 44. Com estes dados foram plotados os gráficos de carga x deslocamento dos colmos para obtenção do módulo de elasticidade, conforme a equação 18.

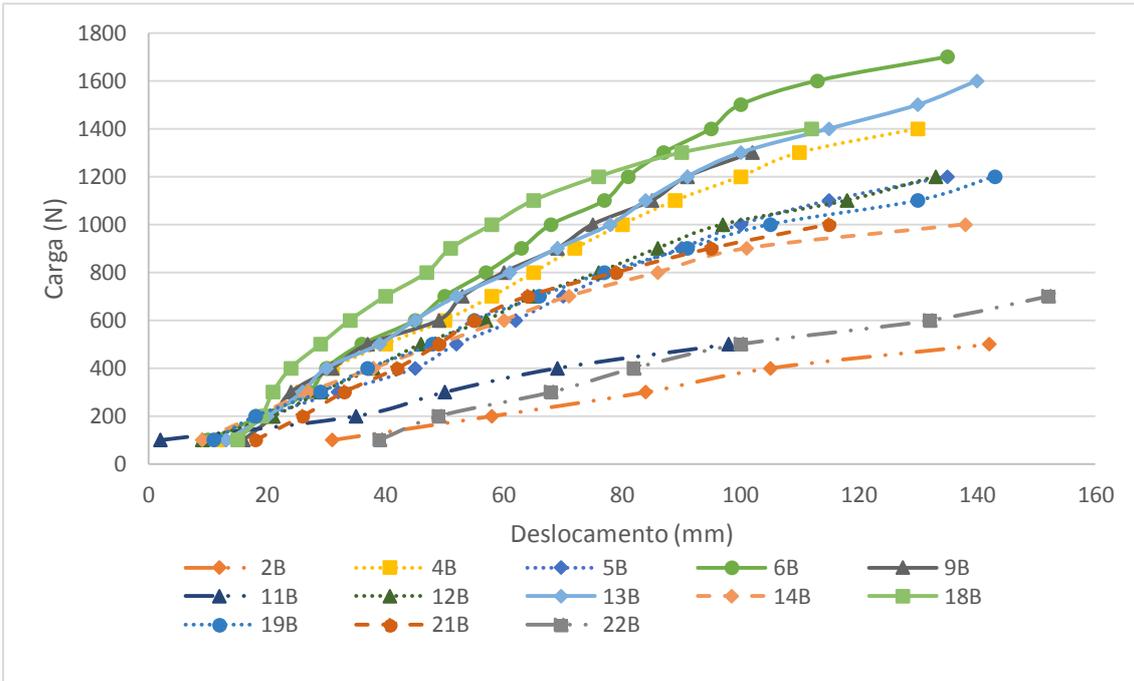


**Figura 44: Metodologia utilizada para aferição da flecha**  
**Fonte: Própria**

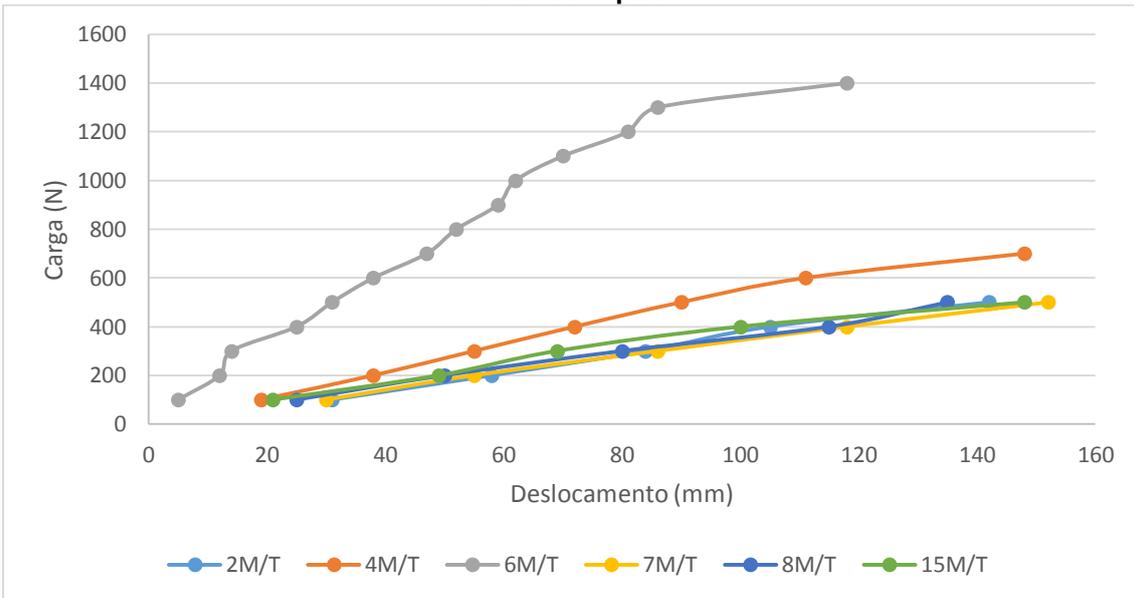
Os gráficos obtidos deste experimento podem ser observados nas figuras 45, 46 e 47. Os gráficos representados nas figuras 45 e 46 foram assim divididos a fim de se observar a influência do diâmetro das varas na resistência destas à flexão, de forma que se pode observar apenas que as amostras da figura 45 possuem menor variação apenas. Ao se observar ambas as figuras, nota-se que os gráficos dos corpos de prova da figura 45 encontram-se aproximadamente na região central dos gráficos da figura 46, região esta, compreendida entre os gráficos do CP 4B e o 11B.



**Figura 45: Gráfico: carga x deslocamento dos colmos basais na faixa de 31 a 40mm de diâmetro.**  
**Fonte: Própria**



**Figura 46: Gráfico: carga x deslocamento dos colmos basais na faixa de 41 a 47mm de diâmetro.**  
**Fonte: Própria**

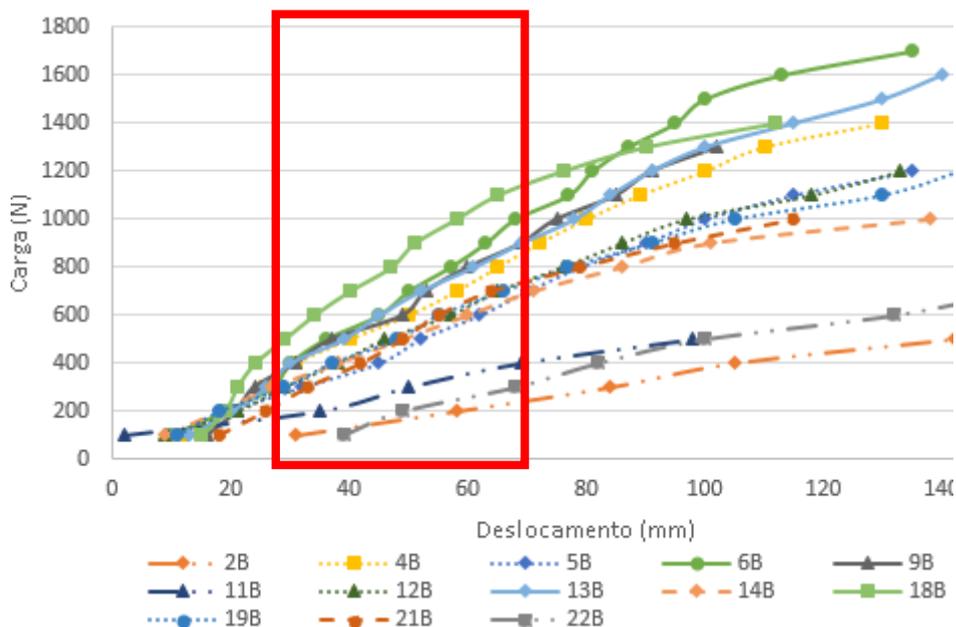


**Figura 47: Gráfico: carga x deslocamento dos corpos de prova da região de meio/topo**  
**Fonte: Própria**

Os resultados obtidos pelo uso das equações 16, 17 e 18 para cada colmo no experimento podem ser observados na tabela 14. Os colmos 2B, 11B, 20B e 22B foram excluídos dos resultados por serem utilizados como balizamento dos equipamentos, estarem verdes e por terem medidas muito abaixo das requeridas pela equação 31, respectivamente. Para a determinação do diâmetro e da espessura da parede foram retiradas medidas de pelo menos quatro pontos

aleatoriamente em cada CP, sendo os resultados expressos nas tabelas 14 e 15, pela média destas medidas, apresentados em ordem crescente dos diâmetros.

O dados para determinação do coeficiente  $s$ , presente nas tabelas 14 e 15, são retirados da análise de cada gráfico das figuras 45 a 47 de forma isolada, obtendo-se a inclinação de uma região linear dos mesmos. A figura 48 demonstra a região adotada para avaliação dos gráficos da região basal referentes à figura 46.



**Figura 48: Região utilizada para obtenção do coeficiente  $s$**   
**Fonte: Própria**

A mesma região foi utilizada para obtenção da inclinação dos gráficos presentes na figura 45, enquanto que nos gráficos da região M/T, figura 47, foi utilizado a inclinação do gráfico como um todo, visto sua linearidade. Os valores do CP 6M/T foram desconsiderados visto a discrepância visual nos resultados em relação aos demais CPs.

**Tabela 14 - Dados do ensaio à flexão da região basal**

Nº Amostra	D (mm)	t (mm)	L (mm)	I (mm <sup>4</sup> )	F(N)	$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	s (N/mm)	E (GPa)
3B	31,95	4,25	2200	51165	663,5	75,96	5,26	19,4
15B	35,48	5,15	2200	77775	892,0	74,59	8,93	21,7
8B	36,10	6,83	2200	83473	902,0	71,52	7,13	16,1
17B	38,13	5,23	2200	103742	1122,0	75,59	9,08	16,5
16B	39,35	6,88	2110	117800	909,0	53,39	8,54	12,1
7B	40,38	5,30	2400	130479	939,0	58,11	5,12	9,6

Continua

**Continuação**

Amostra	D (mm)	t (mm)	L (mm)	I (mm <sup>4</sup> )	F(N)	$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	s (N/mm)	E (GPa)
10B	40,90	4,55	2350	137380	766,0	44,66	6,62	11,1
19B	41,88	5,50	2350	150978	1121,0	60,89	7,97	12,2
21B	42,65	6,88	1930	162530	921,0	38,87	12,80	10,1
9B	44,18	6,43	2450	187010	1311,5	63,25	12,39	17,3
5B	44,58	6,23	2450	193863	1219,0	57,22	10,38	14,0
4B	44,68	5,68	2500	195585	1396,0	66,43	13,31	18,9
1B	45,00	6,00	2350	201350	576,0	25,21	5,13	5,9
12B	45,15	6,10	2350	204052	1154,0	50,00	10,72	12,1
13B	45,68	6,55	2500	213729	1526,0	67,94	11,62	15,1
14B	45,80	5,48	2350	216031	983,0	40,81	9,73	10,4
6B	46,73	6,38	2450	234052	1702,0	69,37	16,33	18,2
18B	47,33	6,50	2100	246310	1387,0	46,64	17,44	11,6

Fonte: Própria

**Tabela 15 - Dados do ensaio à flexão da região meio e topo**

Nº Amostra	D (mm)	t (mm)	L (mm)	I (mm <sup>4</sup> )	F(N)	$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	s (N/mm)	E (GPa)
7M/T	28,15	3,38	1850	30829	453,0	63,77	3,25	11,8
2M/T	29,23	5,93	1900	35868	482,0	62,18	3,77	12,8
8M/T	29,30	3,70	1800	36185	429,0	52,11	3,63	10,4
15M/T	29,88	4,18	1900	39116	498,0	60,22	2,49	7,8
4M/T	36,93	4,75	2050	91277	704,0	48,65	5,52	9,3
6M/T	38,23	4,80	1980	104824	1375,0	82,73	14,40	18,9

Fonte: Própria

Em posse destes dados aplica-se então a equação 10 para obtenção dos valores característicos para a resistência à flexão e para o módulo de elasticidade para a base e o topo do *Phyllostachys aurea*, expressos na tabela 16.

**Tabela 16 - Resultados do Ensaio à flexão**

	Base		Meio/Topo	
	$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	E(GPa)	$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	E(GPa)
$f_m$	63,25	15,08	60,22	10,37
s	10,46	3,59	6,63	2,01
$f_{0,05}$	46,05	9,18	49,31	7,07
$f_k$	41,33	7,83	45,95	6,22
$0,7f_m$	44,28	10,55	42,16	7,26

Fonte: Própria

Visto o grande desvio padrão observado nas propriedades, adotam-se como característicos os valores obtidos, conforme BREMER (2009) a partir de  $0,7f_m$  e, portanto tem-se para a resistência à flexão 44,28MPa para o topo e 42,16MPa para a base do *Phyllostachys aurea*. Esta adoção se deve não apenas ao fato desta relação fornecer valores mais propícios ao dimensionamento, mais também porque devido ao grande valor de desvio padrão obtido, o qual já era esperado devido as características dos bambus, causar grande influência na obtenção das resistências características.

Não foram encontrados valores referentes a este ensaio nesta espécie para realizar comparação dos resultados. Para tal, serão utilizados dados do cisalhamento transversal às fibras, em que a espécie *Dendrocalamus giganteus* possui tensões médias de base e topo de ruptura com os valores de 49 e 47 MPa, respectivamente de acordo com CULZONI(1986). Cruz (2002), obteve para o ensaio de tração transversal às fibras, valores entre 44 e 51MPa para a região basal e entre 37 a 44MPa para a região de topo do *Phyllostachys aurea*.

Já, o módulo de elasticidade obteve os valores de 10,55GPa e 7,26GPa para as regiões de base e topo respectivamente. Culzoni (1986) e Ghavami e Marinho (2002) obtiveram valores na base de 23,1GPa e 18,3GPa para a base e topo do *Dendrocalamus giganteus*, e CRUZ(2002) obteve os valores de 18,5 a 19GPa para a base e de 23,7 a 15,2GPa para o topo. Valores muito diferentes dos obtidos no ensaio à flexão, tal disparidade pode ser devido a forma de obtenção do módulo de elasticidade de CRUZ (2002).

Lee et. al. (1994), estudaram as características mecânicas da espécie *Phyllostachys bambusoide*, utilizando amostras com cerca de 14cm de diâmetro e 9m de comprimento ensaiadas à compressão, tração e flexão, e obtiveram como resultado o valor de 10,89GPa para o módulo de elasticidade, resultado este mais próximo do obtido.

Como esperado, conforme supracitado no referencial, a região basal apresentou maiores valores em relação a região M/T. A pequena variação de resistência à flexão nas duas regiões, de aproximadamente 5% se deve ao fato da região M/T conter as características tanto da região de meio, como da região de topo das varas, representando menores diferenças do que se fossem ensaiadas amostras referentes apenas ao topo das varas.

#### 4.4. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

As amostras para o ensaio à compressão foram retiradas das partes intactas dos corpos de prova do ensaio à flexão. Para determinar suas dimensões foi feito o uso de um paquímetro a fim de obter as dimensões mais exatas possíveis. O CP teve então seu tamanho determinado em função de seu diâmetro, conforme supracitado em 3.2.1.4.2.

As medidas dos diâmetros e da espessura da parede dos corpos de prova podem ser observadas nas tabelas 17 a 20. Para a execução dos corpos de prova, o corte foi feito a mão com o uso de serrote, pelo fato das serras existentes na instituição causarem esfacelamento das fibras dos corpos de prova, fato este prejudicial aos ensaios.

Para melhores resultados, foram retiradas quatro amostras de cada CP ensaiado à flexão, sendo destes dois contendo um nó e dois sem nó a fim de demonstrar as interferências deste elemento à resistência do *Phyllostachys aurea* à compressão. Esta diferença se deve ao fato do nó apresentar uma maior concentração de tensões devido a sua descontinuidade geométrica em relação ao restante do colmo.

Para o referido ensaio foi utilizada a prensa hidráulica EMIC30000 do laboratório de materiais da UTFPR – Câmpus Pato Branco, sendo o ensaio representado na figura 49. Visto os procedimentos propostos pela IS 6874 (BIS, 2008), foram anotados apenas o diâmetro, a espessura das paredes e a força à que o CP resistiu, sem levar em consideração aquisição de dados para execução de gráficos.



**Figura 49: Equipamentos utilizados no ensaio à compressão**  
**Fonte: Própria**

A média e o desvio padrão dos resultados do ensaio podem ser observados nas tabelas 17 a 20. De forma que as tabelas 19 e 17 representam os resultados da região basal com os corpos de prova contendo e não nó, respectivamente. Já, as tabelas 20 e 18 representam a situação supracitada em relação à região de meio/topo das varas de *Phyllostachys aurea*. O diâmetro interno do CP foi obtido conforme equação 19, enquanto a área e a tensão de compressão se remetem às equações 15 e 14, respectivamente. As informações de forma mais detalhada podem ser observadas nas tabelas I, II, III e IV em anexo.

**Tabela 17 – Média dos resultados: ensaio à compressão da região basal sem a presença de nó**

	$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$A(\text{mm}^2)$	$F_{ult}(\text{KN})$	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
Mínimo	25,20	35,80	4,30	459,30	16,26	33,06
Média	32,18	43,68	5,75	687,95	32,49	47,60
Máximo	38,50	49,80	8,50	1070,81	44,56	67,60
Desvio P.	3,98	4,40	0,80	136,57	7,23	8,18

**Fonte: Própria**

**Tabela 18 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região meio/topo sem a presença de nó**

	$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$A(\text{mm}^2)$	$F_{ult}(\text{KN})$	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
Mínimo	20,60	29,00	3,50	280,39	16,01	37,69
Média	25,86	34,84	4,49	429,66	20,85	49,83
Máximo	38,80	46,60	5,80	672,36	27,98	60,63
Desvio P.	5,53	5,73	0,71	111,69	3,79	8,16

**Fonte: Própria**

**Tabela 19 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região basal com a presença de nó**

	d <sub>m</sub> (mm)	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)
Mínimo	22,10	29,70	3,80	309,20	16,71	31,31
Média	30,78	41,60	5,41	621,21	30,34	50,02
Máximo	36,30	50,00	8,00	1055,58	47,13	74,18
Desvio P.	3,82	4,82	1,07	168,95	8,56	11,79

Fonte: Própria

**Tabela 20 - Média dos resultados: ensaio à compressão da região meio/topo com a presença de nó**

	d <sub>m</sub> (mm)	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)
Mínimo	20,50	26,70	3,00	229,84	16,15	45,61
Média	26,31	34,05	3,87	372,55	21,81	60,17
Máximo	33,30	41,50	5,00	510,07	30,05	81,40
Desvio P.	4,39	5,17	0,61	101,28	5,04	10,76

Fonte: Própria

Os valores das amostras 10BIV, V e VII; 14BII e VIII; 17BIII; 18BII, III e V; 2M/TIII e 21BVIII, observadas nos anexos supracitados, foram desconsiderados, visto seus valores muito baixos referentes aos das demais amostras. Em especial as 17BIII e 2M/TII. Os resultados obtidos para à compressão paralela as fibras podem ser observados na tabela 21.

**Tabela 21 - Resistência à compressão**

	Base		Meio/Topo	
	s/nó	c/nó	s/nó	c/nó
	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)
f <sub>m</sub>	47,54	48,51	58,07	49,76
s	11,79	8,18	10,76	8,16
f <sub>0,05</sub>	28,14	35,06	40,37	36,34
f <sub>k</sub>	23,82	31,40	35,73	32,64
0,7f <sub>m</sub>	33,28	33,96	40,65	34,83

Fonte: Própria

Nota-se aqui novamente que a relação proposta por BREMER (2009), da utilização de 0,7f<sub>m</sub>, que fornece valores maiores para a resistência característica, sendo estes os valores aqui adotados. Assim tem-se que a resistência à compressão característica da região basal com e sem nó e, da região de meio/topo com e sem nó são respectivamente 33,96MPa, 33,28MPa, 34,83MPa

e 40,65MPa. Cruz (2002) considerou apenas as cargas máximas resistidas pelos corpos de prova, de forma a obter os valores de 68,57MPa e 73,63MPa para a região basal sem e com nó respectivamente, em comparação, para estas regiões foram obtidos os valores de 74,18MPa e 81,40MPa.

Já, em relação as demais regiões, Cruz (2002) obteve amostras de topo e meio, assim para comparação será realizada uma média destes dois valores a fim de compará-los com a região meio/topo analisada neste trabalho. Obtendo-se assim, os valores de 73,84MPa e 63,40MPa para as amostras sem e com nó, respectivamente. Do ensaio foram obtidos os valores de 67,60MPa e 60,63MPa para as regiões citadas.

Nota-se que os resultados são parecidos com os obtidos por Cruz (2002), sendo os maiores valores obtidos nas regiões contendo nós. Em comparação a outras espécies, o *Phyllostachys aurea* obteve valores superiores aos resistidos pelo *Phyllostachys pubescens*, com máxima de 79,86MPa e inferiores ao *Dendrocalamus giganteus*, com máxima de 96,75MPa.

Notamos ainda que, conforme supracitado, as regiões com nó da base apresentam uma resistência maior à compressão do que as regiões sem a presença do nó. A região de M/T contudo, apresentou maiores valores para a região sem nó, chegando a 40,65MPa enquanto as regiões com nó apresentaram 34,83MPa, gerando uma diferença de 13%, fato correspondente à área do CP, visto que os CPs com nós tendem a apresentar paredes mais espessas que as regiões com nó, assim, mesmo resistindo a cargas maiores, o valor das tensões acabam sendo menores.

Já, a região basal apresentou apenas 2% de diferença da região nodal em relação a região sem nós. Fato este devido a menor influência do nós nestes CPs, pois como o comprimento do corpo de prova depende diretamente do diâmetro externo e, na região basal este tem maiores dimensões, o nó teve menor influência no valor da carga de ruptura.

Nota-se ainda que na região basal, como esperado, obtiveram-se maiores valores para  $F_{ult}$ , porém, devido ao maior diâmetro e à maior espessura das paredes nesta região, tem-se a uma área da seção transversal maior, e portanto, os valores para as tensões resistentes características acabam ficando mais baixos em relação à região M/T.

Os corpos de prova pós-rompimento podem ser observados na figura 50.



**Figura 50: Corpos de prova rompidos à compressão**  
**Fonte: Própria**

#### 4.5. CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS

As amostras para o ensaio ao cisalhamento seguiram o mesmo procedimento das amostras à compressão, ou seja, retiradas das regiões intactas dos corpos de prova à flexão, medidas com um paquímetro e serradas manualmente.

As medidas dos diâmetros e da espessura da parede dos corpos de prova podem ser observados nas tabelas 22 a 25, os equipamentos utilizados são os mesmos do ensaio à compressão.

Para melhores resultados foram retirados, quando possível, 4 amostras de cada CP ensaiado à flexão, sendo destes dois contendo nó e dois sem nó a fim de demonstrar as interferências deste elemento à resistência do *Phyllostachys aurea* ao cisalhamento. Esta observação se faz interessante devido ao fato do nó apresentar uma maior concentração de tensões pela descontinuidade geométrica nestes pontos em relação ao restante do colmo.

Para o referido ensaio foi utilizada a prensa hidráulica EMIC30000 do laboratório de materiais da UTFPR – Câmpus Pato Branco, sendo o ensaio representado na figura 51. Visto os procedimentos propostos pela IS 6874 (BIS, 2008) foram anotados apenas a altura, a espessura das paredes e a força à que o CP resistiu. Foi necessária a fabricação de uma peça semelhante à proposta na figura 27 contendo algumas modificações a fim de facilitar o ensaio, mantendo

claramente suas características principais, a figura 52 mostra esta em mais detalhes.



**Figura 51: Ensaio de CP ao cisalhamento**  
**Fonte: Própria**



**Figura 52: Peça fabricada para o ensaio ao cisalhamento**  
**Fonte: Própria**

A apresentação da análise estatística dos resultados dos ensaios pode ser observada nas tabelas 22 a 25, sendo que as tabelas 24 e 22 apresentam os dados das amostras contendo e não nó, respectivamente, da região basal do *Phyllostachys aurea*, enquanto as tabelas 25 e 23 demonstram estes dados referentes à região meio/topo desta espécie. Sendo que, a resistência ao cisalhamento foi obtida conforme a equação 13. Os demais dados podem ser observados nas tabelas V, VI, VII e VIII em anexo.

**Tabela 22 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região basal sem a presença de nó**

	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
Mínimo	29,70	3,00	103,95	4,46	20,29
Média	42,78	5,58	242,74	8,17	34,81
Máximo	51,30	8,10	415,53	15,02	55,26
Desvio P.	5,18	1,11	70,01	2,44	8,87

Fonte: Própria

**Tabela 23 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região meio/topo sem a presença de nó**

	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
Mínimo	28,48	3,00	93,00	2,58	20,26
Média	35,80	4,45	165,62	5,10	33,44
Máximo	48,80	7,00	341,60	7,70	56,30
Desvio P.	6,85	1,19	78,79	1,47	10,05

Fonte: Própria

**Tabela 24 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região basal com a presença de nó**

	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
Mínimo	30,80	3,90	141,57	4,43	21,28
Média	42,18	6,63	246,29	8,46	34,91
Máximo	50,00	7,60	380,00	14,46	56,09
Desvio P.	8,23	5,58	58,34	2,57	9,06

Fonte: Própria

**Tabela 25 - Média dos resultados: Ensaio ao cisalhamento da região meio/topo com a presença de nó**

	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (KN)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
Mínimo	27,00	3,50	99,90	5,65	32,75
Média	34,26	4,38	150,44	7,52	50,72
Máximo	41,10	5,10	196,80	10,76	64,89
Desvio P.	4,20	0,54	27,36	1,46	8,84

Fonte: Própria

As amostras 3BII; 10BIII e VIII; 13BV e 17BV, observadas nos anexos supracitados, foram desconsiderados visto seus valores muito baixos, e o valor muito alto no resultado da amostra 17BV, em comparação as demais representando, nas amostras 3BII, 10BVIII e 13BV, possíveis medidas muito

discrepantes. Podem-se observar os resultados dos ensaios também, através da figura 53, a qual representa um CP após o rompimento, demonstrando a face cisalhada. Os resultados obtidos para o cisalhamento podem ser observados na tabela 26.



**Figura 53: Detalhe do rompimento do CP**  
**Fonte: Própria**

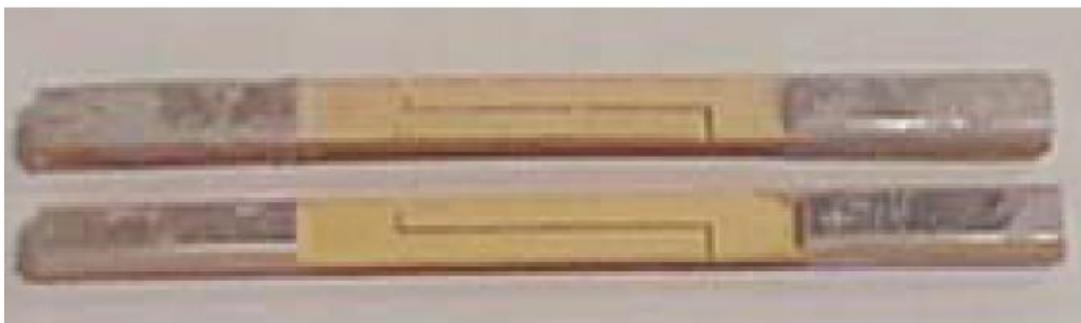
**Tabela 26 – Resistência ao cisalhamento**

	Base		Meio/Topo	
	c/nó	s/nó	c/nó	s/nó
	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
$f_m$	34,91	34,81	50,72	33,44
s	9,06	8,87	8,84	10,05
$f_{0,05}$	20,01	20,21	36,18	16,92
$f_k$	16,79	17,02	32,27	13,77
$0,7f_m$	24,44	24,36	35,51	23,41

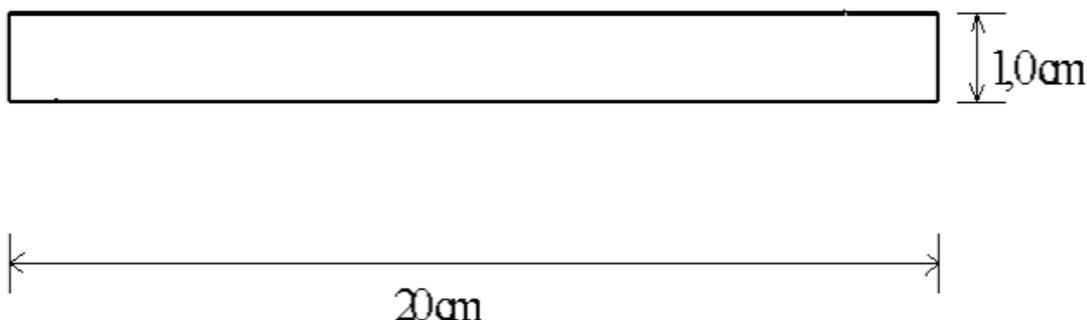
**Fonte: Própria**

Mais uma vez a relação proposta por Bremer (2009), se mostra a melhor em relação à adoção da resistência ao cisalhamento, sendo assim adotados os valores de 24,36MPa e 23,41MPa para a região de base e meio/topo sem nó, respectivamente. E, os valores de 24,44MPa e 35,51MPa para as regiões de base e meio/topo com nó, respectivamente. Nota-se que a região de meio/topo com nó apresentou a maior resistência, fato este devido à grande parcela do CP composto pelo nó, visto que estas amostras contém menor diâmetro e, portanto, menor comprimento abrangendo basicamente o nó, enquanto as amostras com diâmetro maior contemplam uma maior parcela da região intermodal.

Nenhum trabalho com o referido ensaio foi encontrado para comparação, sendo realizada apenas a resistência ao cisalhamento Interlaminar e ao cisalhamento transversal do *Phyllhostachys aurea* por CRUZ (2002). Para a resistência interlaminar Cruz (2002) utilizou corpos de prova com o formato da figura 54, enquanto os corpos de prova para cisalhamento transversal seguem o formato da figura 55.



**Figura 54: Corpos de prova para cisalhamento interlaminar**  
Fonte: CRUZ, 2002



**Figura 55: Formato e dimensões do CP para cisalhamento transversal.**  
Fonte: CRUZ, 2002

Cruz (2002) obteve os valores médios de 3,29MPa e 4,14MPa para a região basal sem e com nó, respectivamente e, 3,88MPa e 3,5MPa para as regiões de meio e topo sem e com nó, respectivamente. No ensaio de resistência ao cisalhamento transversal que os resultados foram mais semelhantes aos obtidos neste trabalho, ficando a região basal com valores médios de 44,54MPa e 51,03MPa para os corpos de prova sem e com nó, respectivamente. Enquanto a região de meio/topo obteve os valores de 42,41MPa para as amostras sem nó e 45,88MPa para as amostras contendo nó.

Assim como o ensaio de resistência à compressão, o ensaio de resistência ao cisalhamento apresentou coerência com o referencial teórico no que diz respeito a sua região M/T, apresentando os valores de 35,51MPa e

23,41MPa para os CPs com e sem nó, respectivamente. A diferença entre as tensões das respectivas regiões ultrapassou os 34%.

A região basal, pelos mesmos aspectos discutidos no ensaio à compressão, teve um diferença menor que 0,5% para os corpos de prova com e sem nó, sendo o maior valor obtido nos corpos de prova com nó, de 24,44MPa. No que se refere as forças últimas, estas foram maiores na região basal e nos CPs com a presença de nós.

#### 4.6. DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

Como se pode observar, os valores de resistência tanto à compressão, quanto ao cisalhamento do *Phyllostachys aurea* foram maiores ou muito parecidos nas regiões com a presença de nó em relação às regiões sem nós. Portanto, decidiu-se adotar para a resistência da vara, uma média ponderada das resistências das amostras com e sem nó, discriminando apenas as regiões da vara em base e meio/topo.

Os resultados desta média são os valores adotados para o dimensionamento da terça, sendo estes, observados na tabela 27.

**Tabela 27 – Tensões e esforços resistentes característicos**

Base			
$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)	$\sigma_{v,ult}$ (MPa)	E(GPa)
44,28	33,62	23,01	10,55
Meio/Topo			
$\sigma_{f,ult}$ (MPa)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)	$\sigma_{v,ult}$ (MPa)	E(GPa)
42,16	37,74	29,42	7,26

**Fonte: Própria**

#### 4.7. DIMENSIONAMENTO

O telhado a ser suportado pelas terças de bambu é composto por telhas de barro tipo Americana, com peso médio de 36Kg/m<sup>2</sup> e inclinação mínima de 35%. A inclinação do telhado é de 38%. Sua estrutura é composta por ripas de *Pinus ellioti*(5x2cm), distanciadas de 50cm, caibros de Angelin-pedra(5x6cm), também dispostos a cada 50cm e com comprimento total de 5,4m, terças de *Phyllostachys aurea*, distanciadas de 1,52m e, por fim, tesouras de Angelin-pedra com vão de 2m. Será adotado para os cálculos uma vara de bambu com

diâmetro médio de 50mm, o maior valor obtido dentre as amostras, e com espessura média de 6,5mm. Esta terça, no problema inicial, era de Angelim pedra de 5x10cm em um vão de 2,5m.

O esquema estrutural das terças pode ser analisado como uma viga bi apoiada sofrendo flexão simples oblíqua, suportando o carregamento equivalente de uma área de 2,00 x 1,52m. A composição das cargas permanentes pode ser observada na tabela 28, sendo que foi feito um acréscimo de 3% às cargas devido à consideração do peso de pregos e parafusos, conforme o item 5.5.2 da NBR7190 (ABNT, 1997), bem como de uma carga de 25Kgf/m<sup>2</sup> devido as instalações elétricas, proposta pela NBR8800 (ABNT, 2008).

**Tabela 28 - levantamento das cargas**

Discriminação	Carga (N/m)
Caibros	159,33
Ripas	27,4
Telhas	547,2
Inst. Elétricas	355
Total	1088,9

**Fonte: Própria**

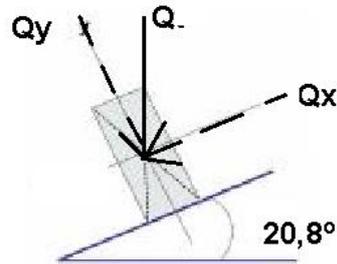
As cargas variáveis causadas pelo vento serão desconsideradas devido a sua insignificância perante aos demais esforços, os quais correspondem a apenas 80N/m<sup>2</sup>, sendo então mensurada somente a sobrecarga de manutenção proposta pela NBR6120 (ABNT, 1980) de 1000N.

#### 4.7.1. Análise estrutural

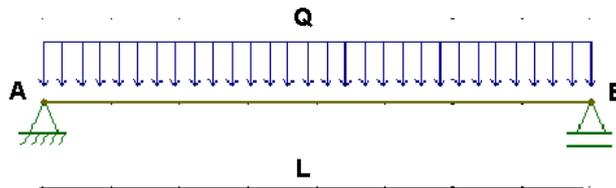
Devido ao posicionamento das terças e, este elemento do telhado é submetido à flexão simples oblíqua. Para melhor entendimento das cargas atuantes na seção transversal da terça pode-se observar a figura 56, já a atuação das cargas ao longo do vão pode ser observada na figura 57 a distribuição das cargas atuantes, ao longo do comprimento da peça. A carga Q na figura 56 pode ser tratada como a maior carga obtida em Q<sub>x</sub> ou Q<sub>y</sub>, devido ao fato do bambu ser um elemento circular em que as inércias em x e em y é igual. As ações Q<sub>x</sub> e Q<sub>y</sub> são obtidas pelas equações 32 e 33.

$$Q_x = Q_t \operatorname{sen} \alpha \quad (32)$$

$$Q_y = Q_t \operatorname{cos} \alpha \quad (33)$$



**Figura 56: Flexão oblíqua**  
Fonte: Própria



**Figura 57: Viga bi apoiada submetida à carga distribuída**  
Fonte: Própria

Pelo esquema estrutural, apresentado na figura 57 tem-se que o momento máximo ( $M_{\max}$ ) e o esforço cortante máximo ( $P_{\max}$ ) são obtidos pelas equações 34 e 35, respectivamente.

$$M_{g,\max} = \frac{QL^2}{8} \quad (34)$$

$$P_{g,\max} = \frac{QL}{2} \quad (35)$$

No caso da análise da sobrecarga de utilização, o esquema da figura 57 é modificado, pois esta representa uma carga pontual e não uma carga distribuída. As equações 33 e 34 se mantêm, já para o cálculo de  $M_{\max}$  e  $P_{\max}$ , utilizamos as equações 36 e 37. A equação 37 é justificada visto que a carga de sobrecarga deve ser analisada na posição de pior situação que, neste caso seria exatamente sobre o apoio, desta forma a carga estaria sendo suportada por apenas um dos apoios.

$$M_{q,\max} = \frac{QL}{4} \quad (36)$$

$$P_{q,\max} = Q \quad (37)$$

Realizando os cálculos utilizando a carga total da tabela 28 e a sobrecarga de utilização teremos os esforços característicos utilizados na combinação de

ações descrita na equação 38, sendo os valores de  $\gamma_g$ ,  $\gamma_q$  e  $\psi_1$  de 1,4 e 0,75 respectivamente. Os resultados podem então ser observados na tabela 29.

$$P_d = P_{g,max}\gamma_g + P_{q,max}\gamma_q\psi_1 \quad (38)$$

**Tabela 29 - Valores de cálculo dos esforços**

	$M_{x,max}$ (N.m)	$Q_{x,max}$ (N)	$M_{y,max}$ (N.m)	$Q_{y,max}$ (N)
Permanentes	63,4	293,9	166,8	773,6
Variáveis	134,9	355,1	355,2	934,8
Combinação	230,4	784,3	606,6	2064,59

Fonte: Própria

Tendo realizado o levantamento das cargas de cálculo passa-se para a análise das resistências de cálculo para comparação com as cargas e análise para vermos se a terça de bambu resiste aos esforços calculados. Usaremos primeiramente a equação 28 e as tabelas 6 e 7 para determinação do  $K_{mod}$ , sendo os valores adotados para  $k_{mod1}$ ,  $k_{mod2}$  e  $k_{mod3}$ , respectivamente 0,6; 0,9 e 1,0 o que corresponde ao fato das cargas serem permanentes, estarmos considerando umidade relativa do ar acima de 75% e o  $k_{mod3}$  corresponde a uma espécie diferente do *Phyllostachys aurea*, visto a não existência de tal valor para esta espécie, foi adotado o valor correspondente a duas espécies de *Phyllostachys* existentes. Assim teremos que  $K_{mod} = 0,54$ .

Os valores de cálculo provenientes da tabela 29, juntamente com os dados geométricos calculados para a vara de bambu proposta, tabela 30, geram os valores vislumbrados na tabela 31 para aferição quanto à flexão, cisalhamento e esmagamento dos colmos.

**Tabela 30 - Dados geométricos de cálculo**

$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$I$ (mm <sup>4</sup> )	$W$ (mm <sup>3</sup> )	$A$ (mm <sup>2</sup> )
37	50	6,5	16084111	321682,2	325

Fonte: Própria

**Tabela 31 - Valores de cálculo para o dimensionamento**

$\sigma_{sd}$ (MPa)	$\tau_{sd}$ (MPa)	$F_{sd}$ (N)
1,89	4,04	2064,59

Fonte: Própria

Utilizando os valores da tabela 8 para a minoração das resistências e a equação 27 para o cálculo dos valores de cálculo das mesmas, aplicados aos valores da tabela 27, considerando o coeficiente de minoração para a flexão de

1,4, levado em consideração à região de base do *Phyllostachys aurea*, obtemos os valores expressos na tabela 32.

**Tabela 32 - Valores de cálculo das resistências**

$\sigma_{,rd}$ (MPa)	$\sigma_{c,rd}$ (MPa)	$\tau_{rd}$ (MPa)	$E_d$ (GPa)
17,08	12,97	6,90	5,70

Fonte: Própria

Levando em conta a equação 25, em que  $S_d < R_d$ , e comparando as tabelas 31 e 32, tem-se que:  $\sigma_{,rd} > \sigma_{sd}$  e  $\tau_{rd} > \tau_{sd}$ . Utilizando a relação da equação 39, proposta pela NBR7190 (1997) temos que:

$$f_{c90,k}/f_{c0,k} = 0,25 \quad (39)$$

Onde:

$f_{c90,k}$  - Resistência à compressão perpendicular as fibras, em MPa;

$f_{c0,k}$  - Resistência à compressão paralela as fibras, em MPa;

Utilizando a equação 6 sendo  $f_{c90,k}$  substituído por  $f_{c0,k}/4$ , e considerando o comprimento de contato do colmo com a tesoura de 15cm, obtém-se  $F_{Rd} = 3,537KN > F_{sd} = 2,064KN$ .

A terça de *Phyllostachys aurea*, com as dimensões adotadas e as características obtidas resiste aos esforços propostos e logo é adequada para uso como terça na situação proposta. Este fato demonstra o potencial latente desta espécie na construção civil.

Pode-se observar a diferença entre a capacidade de suportar cargas do bambu em relação a madeira visto que a espécie *Angelin-pedra* é considerada uma madeira de resistência mediana, com valores resistentes maiores que os do *Pinus elliotti* e menores que os de madeiras como o cedro. Para resistir aos esforços do telhado proposto foi necessária uma peça de 10 x 5cm de Angelin-pedra, enquanto que uma vara de bambu da espécie *Phyllostachys auera* de 5,5cm de diâmetro atende as exigências estruturais.

Nota-se ainda a boa resistência à flexão do bambu, fato esperado visto que sua estrutura, como supracitado, é basicamente voltada à resistência a tais esforços. Tanto que na natureza este atua como um console engastado ao solo e livre na outra extremidade.

Outro ponto que se destaca na espécie estudada se refere a sua resistência à compressão paralela às fibras, que apresenta um valor semelhante ao da resistência à flexão.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na pesquisa foram satisfatórios em relação ao estudo proposto, visto que se mostrou viável a substituição de uma terça de 5x10cm de *Angelim pedra* por uma vara de 5,0cm de diâmetro de *Phyllostachys aurea*, propiciando uma alternativa sustentável aos padrões convencionais de construção de estruturas de telhado.

Apesar das irregularidades existentes nas varas, em decorrência de se tratar de um bambuzal não manejado, as varas apresentaram poucas variações de resistência ao longo de seu comprimento. Além de representar valores semelhantes aos obtidos nos ensaios realizados por outros autores dentro dos mesmos padrões deste trabalho.

Os valores obtidos nos desvios padrões das características embora grandes estão de acordo com o esperado para a caracterização de bambus, visto que estas plantas apresentam grandes variações geométricas e morfológicas não apenas entre espécimes, mais em sua própria estrutura, seja pela presença de nós ou imperfeições provenientes de seu crescimento.

Podem ser realizadas complementações do estudo, tanto das características quanto do uso desta planta em outros elementos de cobertura, através da realização da caracterização de um número maior de espécimes referentes à região meio/topo, ensaios para determinação da resistência perpendicular as fibras, assim como estudos quanto à forma de fixação desses elementos.

## REFERÊNCIAS

A PONTE, UNINDO COMPETÊNCIAS. **O bambu**. Disponível em: <<http://www.a-ponte.org.br/>>. Acesso em: 19 set. 2016.

ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE. **O bambu como alternativa na construção**. 2012. Disponível em: <<https://arquiteturaesustentabilidade.wordpress.com/2012/11/14/o-bambu-como-alternativa-na-construcao/>>. Acesso em: 02 nov. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**: Forças devido aso ventos em edificações. Rio de Janeiro, 1988. Acesso em: 10 out. 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. Acesso em: 10 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. Acesso em: 15 mai. 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013. Acesso em: 2 nov. 2016.

BARBOSA, Normando Perazzo; GHAVAMI, Khosrow; MOREIRA, Luiz Eustáquio. **Proposta de Norma: Projeto de Estruturas de Bambu – Procedimento**. Universidade federal de Pernambuco. Pernambuco, 2014. Acesso em: 28 nov. 2016

BASTOS, Pedro K. X. **Apostila Construções de Edifícios**. 2011. 16ª - Rios Ltda. Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <<http://www.ufjf.br>>. Acesso em: 2 nov. 2016

BREMER, Cynara Fiedler. **CONSTRUÇÕES EM MADEIRA**. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2009. Acesso em: 17 nov. 2016

BUREAU OF INDIAN STANDARDS. **IS 6874: Method of tests for bamboo**. Nova Dheli, 2008. Acesso em: 10 out. 2016

CABRERA, Luiz Carlos. **Afinal, o que é sustentabilidade?** Revista Você S/A, Editora Abril, São Paulo, maio de 2009. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br>> Acesso em: 19 set. 2016.

calphotos.berkeley.edu. Acesso em: 05 nov. 2016.

CARDOSO, Rubens Jr. **Arquiterura com bambu**. 2000. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul. UFRGS – PROPARG. Acesso em: 02 nov. 2016

CAVERSAN, Adriana Lima e DAVID, Priscila L. D. **PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA HABITAÇÃO**. Programa de Pós Graduação em Design da UNESP-Bauru. Bauru. São Paulo, 2012. Acesso em: 10 out. 2016

CHING, Francis D. K. **Técnicas de Construção Ilustradas**. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, v. Único, 2010. 480 p. Acesso em: 10 out. 2016

CHRISTIAN, C. **“The best Ecuador has to offer”**. 2011. Disponível em: <[https://www.tripadvisor.com.br/Hotel\\_Review-g297538-d599476-Reviews-Alandaluz\\_Hosteria\\_y\\_Pueblo\\_Ecologico-Manta\\_Manabi\\_Province.html#photos;geo=297538&detail=599476&ff=36517590&albumViewMode=hero&albumid=101&baseMediald=36517590&thumbnailMinWidth=50&cnt=30&offset=-4&filter=2](https://www.tripadvisor.com.br/Hotel_Review-g297538-d599476-Reviews-Alandaluz_Hosteria_y_Pueblo_Ecologico-Manta_Manabi_Province.html#photos;geo=297538&detail=599476&ff=36517590&albumViewMode=hero&albumid=101&baseMediald=36517590&thumbnailMinWidth=50&cnt=30&offset=-4&filter=2)> Acesso em: 28 nov. 2016

CORBO, Javier. **Dream! Alcalá**. Disponível em: <<http://www.dream-alcala.com>>. Acesso em: 3 nov. 2016

CRUZ, Martha Lissette Sánchez. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie Phyllostachys aurea: Comportamento à flambagem**. PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: 17 out. 2016

CULZONI, R. A M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Rio de Janeiro, 1986. 134 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio. Acesso em: 29 mai. 2017.

FRANCO, José Tomás. **Cali, colômbia: escola de bambu inicia campanha para finalizar sua construção**. 2014. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-173006/cali-colombia-escola-de-bambu-inicia-campanha-para-finalizar-sua-construcao>>. Acesso em: 28 nov. 2016

Folha de São Pulo, **ONU recomenda casa de bambu**. Fevereiro de 1996. Acesso em: 25 ago. 2016.

FIGUEIREDO, Newton. **A importância dos selos verdes**. Disponível em: <[www.forumdaconstrucao.com.br](http://www.forumdaconstrucao.com.br)>. Acesso em: 19 set. 2016.

FLACH, Rafael Schneider. **Estruturas para telhados: análise técnica de soluções**. 2012. Dissertação – UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Acesso em: 2 de nov. 2016

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Densidade de sólidos irregulares (princípio de Arquimedes)**. Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br>>. Acesso em: 25 nov. 2016

FONSECA, J.J.S **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Acesso em: 21 nov. 2016

GEYMAYER, H.; COX, F. B. **Bamboo Reinforced Concrete**. ACI Journal, Vol. 67, 1970. p. 10-16. Acesso em: 14 out. 2016

GHAVAMI, K.; HOMBECK, R.V. **Application of bamboo as a construction material: Part I- Mechanical properties and water repellent treatment of bamboo**. Proceedings of the Latin American Symposium on Rational Organization of Building Applied Low cost Housing. IPT CIB. São Paulo, Brasil, 1981. p. 49- 66. Acesso em: 17 out. 2016

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**. Rio de Janeiro: PUC-Rio. Publicação RMNC Bambu 01/2001, 2001. 53p. Acesso em: 14 out. 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. Ed. São Paula: Atlas, 2007. Acesso em: 21 nov. 2016

GORETTI, Camila. **Selos para edificações sustentáveis**. Juiz de fora, 2013. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com>>. Acesso em: 12 set. 2016.

HELLMEISTER, J. C. **Estruturas de Madeira**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo 2ed. Rev. São Carlos, SP. 1977. Acesso em 17 nov. 2016

HIDALGO; L. O. (1974). **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricacion de papel, construccion, arquitectura, ingenieria, artesanía**. Estudios Técnicos Colombianos. Cali - Colombia. Acesso em 10 out. 2016

INTERNATIONAL STANDARDS. **ISO 22156 – Bamboo – Structural Design**. Suíça, 2004. Acesso em: 28 nov. 2016.

JARAMILLO, S. V. **LA GUADUA EN LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN**. IN: ANALES DEL CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ, GUARDA, PEREIRA, COLÔMBIA, 1992. Acesso em: 10 out. 2016

JÚNIOR, Victor Martins dos Santos. **Construções em bambu**. 2016. Disponível em: <<http://victorarquiteto.blogspot.com.br/>> Acesso em: 28 nov. 2016

LACERDA, Gustavo. **Construções em Madeira**. Notas de aula. UTFPR – campus Pato Branco. Pato Branco, 2015.

LEE, A.W.C.; BAI, X.; PERALTA, P.N. **Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina**. Forest Products Journal, Vol.44, No.9, p. 40-46, 1994.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 1988. 203 p. Acesso em: 14 out. 2016

LIESE, Walter. **The anatomy of bamboo culms, International Network for Bamboo and Rattan**, P. R. China, 1998. Acesso em: 17 out. 2016.

LINDHOL, Maria. PALM, Sara. **Guadua chacoensis in Bolivia-an investigation of mechanical properties of a bamboo species**. Linköping University, Department of Management and Engineering, Carl Malmsten - Centre for Wood Technology & Design. 2007. Acesso em 17 out. 2016

LIU, J. **Bamboo house: tropical loft in the rainforests**. Residential house. China Blog.13 July 2009. Disponível em: <<http://chinablog.cc/2009/07/bamboo-house-tropicalloft-in-the-rainforests/>>. Acesso em: 2 nov. 2009.

LOGSDON, Barros Norman. **Estruturas de madeira para coberturas sob a ótica da NBR 7190/1997**. 2002 Dissertação - UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2002. Acesso em: 2 nov. 2016

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, the gifts of the gods**. Colombia, Bogota: D'vinni Ltda, 2003. Acesso em: 2 nov. 2016

LÓPEZ, O. H. **Manual de construcción con bambu**. Bogotá, Estúdios Técnicos Colombianos Ltda, Universidad Nacional de Colômbia, 1981. Acesso em: 02 nov. 2016

MARÇAL, Vitor H. S. **Uso do Bambu na Construção Civil**. 2008. 60p. Manografia - Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MARQUEZ, Fábio Lanfer. **A viabilidade das construções em Bambu: análise de obras referenciais**. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. 2007. Acesso em: 14 out. 2016

MIRIAM. **Relatório Brundtland – Nosso futuro comum**. 2011. Disponível em: <[http://www.recriarcomvoce.com.br/blog\\_recriar/relatorio-brundtland-nosso-futuro-comum/](http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/relatorio-brundtland-nosso-futuro-comum/)>. Acesso em: 28 nov. 2016

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Revisão de Reyloando Manoel L. R. da Fonseca. Brasil, 4ª ed. Ver. São Palo: Blucher, 2010. Acesso em: 25 nov. 2016

NETO, Miguel F. H. **Estruturas de madeira**. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/disciplinas/madeira/2009/cap8.pdf>> Acesso em: 2 nov. 2016

NUNES, Antonio Ricardo Sampaio. **Construindo com a natureza. Bambu: uma alternativa de eco desenvolvimento**. Universidade federal do Sergipe. São Cristóvão. Sergipe. 2005. Acesso em: 03 out. 2016

**O bambu**. 2016 Disponível em < <http://www.a-ponte.org.br>> Acesso em: 19 set. 2016

OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. **Conhecendo o Bambu e suas Potencialidade para uso na Construção Civil**. 2013 UFMG – Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. Acesso em 2 nov. 2016

PADOVAN, Roberval Bráz. **O bambu na arquitetura: desing de conexões estruturais**. 2010. 181 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/89702>>. Acesso em: 2 nov. 2016

PEQUENAS EMPRESAS E GRANDES NEGÓCIOS. **Ponte na Indonésia é totalmente construída com vigas de bambu e sapé**. 2012. Disponível em: <<http://revistapegn.globo.com/Revista/Common/0,,EMI321231-17180,00-PONTE+NA+INDONESIA+E+TOTALMENTE+CONSTRUIDA+COM+VIGAS+D+E+BAMBU+E+SAPE.html>>. Acesso em: 2 nov. 2016

PET CIVIL UFJF. **Versatilidade e qualidade: uso do bambu na construção civil**. 2015. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2015/05/14/versatilidade-e-qualidade-uso-do-bambu-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 2 nov. 2016.

PINHEIRO, Roberto V. **Emprego da Madeira do Gênero Pinus na Construção de Estruturas de Cobertura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - USP - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. Acesso em: 2 nov. 2016

PLETZ, Everaldo; MOLINA, Julio C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 1ª. ed. São Paulo: Pini Ltda, v. único, 2010. Acesso em: 17 nov. 2016

PRATES, Eduarda Maria Bhering. **Morfologia externa e anatomia do colmo de *Dendrocalamus asper* em duas localidades no Distrito Federal, Brasil**. Universidade de Brasília. Distrito Federal. Brasília, 2013. Acesso em: 07 out. 2016

RAMOS, W. N. P. **Bambu como material para habitações**. Cidade Gaucha, PR: Universidade Estadual de Maringá, 2009. 55p. Acesso em: 10 out. 2016

SILVA, Roberto Magno de Castro. **O bambu no brasil e no mundo**. Setembro de 2005. Disponível em: <<http://www.embambu.com.br>>. Acesso em :07 out. 2016

SOUZA, ADRIENE P. C. C. **BAMBU NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL**, Belo Horizonte, junho 2002. Acesso em: 17 nov. 2016

SPOLIDORO, Pedro Varajão. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto da Floretas, Curso de Engenharia Florestal. Seropédica, RJ. 2008. Acesso em: 17 out. 2016

STAMM, jorg. 2016 Disponível em: <<http://www.ecoeficientes.com.br/jorg-stamm/>>. Acesso em: 2 nov. 2016

Tan, T.; Rahbar, N.; Allameh, S. M.; Kwofie, S.; Dissmore, D.; Ghavami, K.; Soboyejo, W. O. - **Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures**. *Acta Biomaterialia*. Vol. 7. n.º 10 (2011). Acesso em 17 out. 2016

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987. Acesso em 21 nov. 2016

VASCONSELLOS, Raphael Moraes. **Cartilha de fabricação de móveis**. Instituto do Bambu (INBAMBU). Maceió. Alagoas. 2004. Acesso em: 03 out. 2016.

VIEIRA, Jean. **Evolução da sustentabilidade na construção civil e dos sistemas de certificação**. 2014. Disponível em: <<http://sustentarqui.com.br>>. Acesso em: 02 set. 2016.

## ANEXOS

Tabela I - Resultados do ensaio à compressão da região basal sem a presença de nó

Amostra	$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$F_{ult}$ (N)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
2B-I	32,3	47,5	7,6	952,66	44599	46,82
2B-III	36,3	46,3	5,0	648,74	43031	66,33
3B-I	33,7	48,3	7,3	940,28	43121	45,86
3B-III	27,7	39,7	6,0	635,23	25301	39,83
4B-I	33,7	42,5	4,4	526,66	34611	65,72
4B-IV	35,7	46,7	5,5	711,88	47127	66,20
5B-I	26,1	37,9	5,9	593,13	26300	44,34
5B-III	22,1	29,7	3,8	309,20	21367	69,11
6B-I	31,6	42,2	5,3	614,40	40185	65,41
6B-II	35,0	47,0	6,0	772,83	35400	45,81
7B-I	29,1	37,1	4,0	415,95	21376	51,39
7B-III	28,5	36,3	3,9	396,97	29446	74,18
8B-I	24,8	36,2	5,7	546,17	32313	59,16
8B-III	29,0	37,0	4,0	414,69	21056	50,78
9B-I	33,1	43,9	5,4	653,14	31459	48,17
9B-III	32,9	42,3	4,7	555,18	36459	65,67
10B-I	32,0	43,8	5,9	702,49	26560	37,81
10B-IV	30,1	40,3	5,1	563,98	17370	30,80
12B-I	34,4	43,0	4,3	522,79	22644	43,31
12B-II	32,3	42,1	4,9	572,65	19657	34,33
13B-II	34,0	50,0	8,0	1055,58	39365	37,29
13B-III	31,2	42,0	5,4	620,90	29516	47,54
14B-I	35,0	47,0	6,0	772,83	25261	32,69
14B-IV	31,0	44,4	6,7	793,53	18629	23,48
15B-I	27,1	36,1	4,5	446,73	21106	47,25
15B-II	28,3	37,5	4,6	475,45	23623	49,69
16B-II	27,8	37,8	5,0	515,22	21166	41,08
16B-IV	31,8	43,8	6,0	712,51	27658	38,82
17B-I	23,8	37,8	7,0	677,33	40424	59,68
17B-III	28,5	37,3	4,4	454,78	5853	12,87
18B-II	36,4	50,0	6,8	922,87	28478	30,86
18B-III	34,2	44,0	4,9	601,90	18529	30,78
19B-III	33,3	44,3	5,5	670,42	35739	53,31
19B-IV	34,5	45,3	5,4	676,89	35400	52,30
21B-I	24,8	34,0	4,6	424,87	16711	39,33
21B-IV	32,4	44,4	6,0	723,82	22664	31,31

Fonte: Própria

**Tabela II - Resultados do ensaio à compressão da região basal com a presença de nó.**

Amostra	d <sub>m</sub> (mm)	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (N)	σ <sub>c,ult</sub> (MPa)
2B-VI	37,4	49,8	6,2	849,24	43790	51,56
2B-VII	36,4	49,6	6,6	891,58	43201	48,45
3B-V	31,6	48,6	8,5	1070,81	44560	41,61
3B-VIII	31,8	43,8	6,0	712,51	27589	38,72
4B-VI	33,5	44,7	5,6	687,88	35989	52,32
4B-VIII	33,2	46,6	6,7	839,84	42732	50,88
5B-VI	28,3	38,7	5,2	547,27	29207	53,37
5B - VII	21,0	30,8	4,9	398,70	15902	39,88
6B-V	35,3	47,3	6,0	778,49	38367	49,28
6B-VI	35,6	48,2	6,3	829,29	41773	50,37
7B-V	29,7	38,3	4,3	459,30	23393	50,93
7B-VIII	35,5	44,7	4,6	579,50	32343	55,81
8B-V	25,2	37,2	6,0	588,11	30475	51,82
8B -VI	25,5	37,5	6,0	593,76	28837	48,57
9B-V	32,0	44,0	6,0	716,28	33262	46,44
9B-VII	35,2	44,8	4,8	603,19	28438	47,15
10B-V	34,3	45,7	5,7	716,28	19697	27,50
10B-VII	30,4	40,0	4,8	530,80	13504	25,44
12B-VI	33,9	43,9	5,0	611,04	23484	38,43
12B-VIII	36,2	48,2	6,0	795,45	29466	37,04
13B-VII	36,2	48,2	6,0	795,45	32313	40,62
13B-VIII	30,2	43,2	6,5	749,43	42132	56,22
14B-V	38,5	48,5	5,0	683,30	25960	37,99
14B-VIII	33,6	49,2	7,8	1014,48	20027	19,74
15B-V	27,4	36,8	4,7	473,97	24352	51,38
15B-VI	25,3	36,9	5,8	566,68	31934	56,35
16B-VII	32,8	44,2	5,7	689,42	28278	41,02
16B-VIII	32,5	44,1	5,8	697,87	30405	43,57
17B-VI	27,7	39,7	6,0	635,23	40334	63,50
17B-VIII	28,1	38,3	5,1	531,93	35959	67,60
18B-V	38,7	51,5	6,4	906,79	25621	28,25
18B-VII	35,4	46,2	5,4	692,16	23553	34,03
19B-V	34,3	45,9	5,8	730,67	31334	42,88
19B-VIII	35,2	46,8	5,8	747,07	35180	47,09
21B-VI	25,6	35,8	5,1	491,88	16261	33,06
21B-VIII	33,2	45,8	6,3	781,79	22243	28,45

Fonte: Própria

**Tabela III - Resultados do ensaio à compressão da região meio/topo sem nó**

Amostra	$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$F_{ult}$ (N)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
2M/T-I	24,1	34,1	5,0	457,10	24852	54,37
2M/T-III	24,6	31,0	3,2	279,48	899	3,22
4M/T-I	33,3	41,5	4,1	481,73	30046	62,37
4M/T-II	32,5	41,3	4,4	510,07	25691	50,37
6M/T-I	27,6	36,0	4,2	419,59	26889	64,08
6M/T-III	30,9	39,1	4,1	450,82	26180	58,07
7M/T-II	26,1	33,7	3,8	356,95	16281	45,61
7M/T-III	23,5	29,5	3,0	249,76	17700	70,87
8M/T-II	23,9	31,7	3,9	340,61	16631	48,83
8M/T-III	20,5	26,7	3,1	229,84	18709	81,40
15M/T - I	20,8	27,0	3,1	232,76	16151	69,39
15M/T -IV	26,2	34,0	3,9	368,79	20836	56,50

Fonte: Própria

**Tabela IV - Resultados do ensaio à compressão da região meio/topo com nó.**

Amostra	$d_m$ (mm)	$D_m$ (mm)	$t$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$F_{ult}$ (N)	$\sigma_{c,ult}$ (MPa)
2M/T-V	25,4	34,8	4,7	444,44	24852	55,92
2M/T-VI	25,6	34,0	4,2	393,20	23633	60,10
4M/T-VIII	38,8	46,6	3,9	523,17	19717	37,69
6M/T-VII	31,1	42,7	5,8	672,36	27988	41,63
7M/T-VI	26,0	36,0	5,0	486,95	20337	41,76
7M/T-VIII	22,7	30,7	4,0	335,52	16980	50,61
8M/T-V	20,6	31,2	5,3	431,25	21096	48,92
8M/T-VIII	22,0	29,0	3,5	280,39	17000	60,63
15M/T - V	20,6	29,6	4,5	354,84	16012	45,12
15M/T -VIII	25,8	33,8	4,0	374,48	20936	55,91

Fonte: Própria

**Tabela V - Resultados do ensaio ao cisalhamento da região basal sem a presença de nó**

Amostra	$D_m$ (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	$F_{ult}(N)$	$\sigma_{v,ult}$ (MPa)
2B-II	46,3	6,0	277,80	10608	38,19
3B-II	47,8	7,5	358,50	2877	8,03
3B-IV	40,5	6,0	243,00	7971	32,80
4B-II	43,3	4,9	212,17	10348	48,77
4B-III	46,5	5,7	265,05	8121	30,64
5B-II	38,0	5,8	220,40	6792	30,82
5B-IV	29,7	3,5	103,95	5744	55,26
6B-III	48,1	7,2	346,32	13904	40,15
6B-IV	48,8	7,0	341,60	9859	28,86
7B-II	36,3	3,9	141,57	6692	47,27
7B-IV	44,4	5,7	253,08	5134	20,29
8B-II	36,1	5,5	198,55	8580	43,21
8B-IV	37,3	4,2	156,66	5284	33,73
9B-III	44,3	4,7	208,21	7322	35,17
9B-IV	43,8	4,6	201,48	4465	22,16
10B-II	43,3	5,8	251,14	5474	21,80
10B-III	39,0	4,5	175,50	3216	18,32
12B-III	45,9	6,0	275,40	8900	32,32
12B-IV	46,8	6,0	280,80	6373	22,70
13B-I	49,8	7,7	383,46	15023	39,18
13B-IV	51,3	8,1	415,53	10318	24,83
14B-II	48,4	5,8	280,72	8451	30,10
14B-III	48,8	5,9	287,92	8820	30,63
15B-III	36,0	5,6	201,60	10508	52,12
15B-IV	39,1	5,8	226,78	9180	40,48
16B-II	40,2	3,0	120,60	5584	46,30
16B-III	43,3	5,9	255,47	8800	34,45
17B-II	38,0	6,5	247,00	9589	38,82
17B-IV	38,1	5,0	190,50	6623	34,77
18B-I	47,7	6,1	290,97	8031	27,60
18B-IV	44,0	5,1	224,40	6043	26,93
19B-I	44,0	5,7	250,80	7262	28,96
19B-II	44,8	5,4	241,92	10308	42,61
21B-II	33,7	4,0	134,80	4924	36,53
21B-III	45,3	6,2	280,86	8471	30,16

Fonte: Própria

**Tabela VI - Resultados do ensaio ao cisalhamento da região basal com a presença de nó**

Amostra	$D_m$ (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	$F_{ult}$ (N)	$\sigma_{v,ult}$ (MPa)
2B-V	49,0	5,7	279,30	12296	44,02
3B-VI	48,5	7,5	363,75	14464	39,76
3B-VII	40,5	5,8	234,90	7661	32,61
4B-V	42,5	4,5	191,25	10059	52,60
4B-VII	46,0	6,0	276,00	13205	47,84
5B-V	39,8	5,6	222,88	8311	37,29
5B-VIII	30,8	4,9	150,92	7182	47,59
6B-VII	49,3	7,2	354,96	13135	37,00
6B-VIII	50,0	7,0	350,00	9799	28,00
7B-VI	36,3	3,9	141,57	7941	56,09
7B-VII	41,8	4,5	188,10	5134	27,29
8B-VI	37,2	5,4	200,88	7552	37,59
8B -VII	37,9	5,5	208,45	4435	21,28
9B-VI	46,8	5,0	234,00	6453	27,58
9B-VIII	44,1	5,0	220,50	6822	30,94
10B-VI	45,4	5,2	236,08	5494	23,27
10B-VIII	41,0	4,7	192,70	791	4,10
12B-V	44,0	6,0	264,00	6972	26,41
12B-VII	47,7	6,2	295,74	8550	28,91
13B-V	50,0	7,7	385,00	2247	5,84
13B-VI	50,0	7,6	380,00	13205	34,75
14B-VI	5,5	36,9	202,95	9369	46,16
14B-VII	49,0	5,6	274,40	8231	30,00
15B-VII	38,8	5,6	217,28	9619	44,27
15B-VIII	39,2	5,7	223,44	7012	31,38
16B-VI	40,7	5,2	211,64	6653	31,44
16B-VIII	41,0	6,0	246,00	5614	22,82
17B-V	37,9	6,4	242,56	14604	60,21
17B-VII	39,2	5,0	196,00	8620	43,98
18B-VI	44,8	5,3	237,44	7022	29,57
18B-VIII	48,2	5,9	284,38	8041	28,28
19B-VI	46,6	5,6	260,96	9140	35,02
19B-VII	46,1	5,7	262,77	10428	39,68
21B-V	37,1	5,0	185,50	5304	28,59
21B-VII	46,0	6,2	285,20	7172	25,15

Fonte: Própria

**Tabela VII - Resultados do ensaio à compressão da região meio/topo sem nó.**

Amostra	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (N)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
2M/T-IV	34,2	5,2	177,84	4335	24,38
4M/T-III	31,9	3,8	121,22	4275	35,27
4M/T-IV	41,3	4,4	181,72	6263	34,47
6M/T-II	47,0	6,0	282,00	5714	20,26
6M/T-IV	48,8	7,0	341,60	7701	22,54
7M/T-I	33,0	3,5	115,50	6503	56,30
7M/T-IV	31,0	3,0	93,00	2577	27,71
8M/T-I	33,2	4,5	149,40	5134	34,36
8M/T-IV	30,0	3,7	111,00	3776	34,02
15M/T - II	28,4	3,7	105,08	3956	37,65
15M/T -III	35,0	4,1	143,50	5873	40,93

Fonte: Própria

**Tabela VIII - Resultados do ensaio à compressão da região meio/topo com nó.**

Amostra	D <sub>m</sub> (mm)	t (mm)	A(mm <sup>2</sup> )	F <sub>ult</sub> (N)	σ <sub>v,ult</sub> (MPa)
2M/T-VII	34,8	3,5	121,80	7082	58,14
2M/T-VIII	32,0	4,0	128,00	7882	61,58
4M/T-VI	41,1	4,2	172,62	5654	32,75
4M/T - VII	30,0	5,0	150,00	7881	52,54
6M/T-V	37,0	5,1	188,70	10760	57,02
6M/T - VI	41,0	4,8	196,80	9719	49,39
7M/T-V	36,2	4,1	148,42	7072	47,65
7M/T-VII	32,8	4,2	137,76	5893	42,78
8M/T-VI	32,2	4,8	154,56	7032	45,50
8M/T-VII	27,0	3,7	99,90	6483	64,89
15M/T - VI	31,7	5,0	158,50	7362	46,45
15M/T -VII	35,3	4,2	148,26	7412	49,99

Fonte: Própria