

Utilização de Bambu na Construção Sul-americana – Revisão tecnológica

RODRIGO PEDRA FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM PROJECTO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de
Araújo Faria

JULHO DE 2021

Dedico essa dissertação aos meus amados avós,
Maria Rita (In memoriam) e Elzo Pedra.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado forças para concluir.

Sou grato as minhas mães e meu padrasto, por todo o suporte e apoio incondicional prestado, sem vocês nada disso seria possível.

Aos meus irmãos, por todo respeito e carinho durante essa jornada.

A minha namorada, por todo amor e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao Dr. Henrique Januário, por toda amizade, paciência e suporte prestado no Porto.

Ao Dr. Lincoln, por todos os incentivos e favores prestados.

A todos meus familiares do Brasil, por todo incentivo e torcida.

Agradeço a todos os meus amigos de curso, pela oportunidade do convívio e pela cooperação durante estes anos.

Por último, quero agradecer ao Professor Doutor José Amorim, meu orientador, por todas as horas dedicadas e paciência durante o trabalho. Seus conhecimentos tornaram fizeram enorme diferença no trabalho final.

Muito obrigados a todos, vocês fazem parte dessa minha conquista.

RESUMO

A construção civil requer uma grande quantidade de matérias-primas, renováveis ou não, o que pressiona a origem desses recursos. Os insumos renováveis mais utilizados são em madeira, com uma ampla gama de utilizações possíveis, como formas para betão, revestimento ou construção de estruturas. Apesar da indústria madeireira recorrer a materiais renováveis, muitas das espécies de madeira correntemente exploradas têm um ciclo de crescimento lento o que muitas vezes determina a dificuldade em atender os setores consumidores com algumas espécies.

Nesta lacuna deixada no mercado, surgiu uma nova alternativa, que é o bambu. Na verdade, este insumo está ligado diretamente ao desenvolvimento da humanidade há milênios mas, só a partir da metade do século XX, é que se iniciou o processo de exploração comercial corrente do bambu, para se tornar um substituto da madeira tradicional. Isto deve-se sobretudo ao facto de apresentar um crescimento acelerado, de até 50 cm por ano, dependendo da espécie, algo que é inimaginável na indústria madeireira tradicional.

Este movimento ocorreu principalmente em países do sudeste asiático e nos países sul-americanos, e tal se deve ao fato de os povos originários destas duas regiões construírem há milhares de anos com o bambu, devido ao fato de ser uma matéria prima abundante nessas regiões. O Brasil por sua vez começou a querer explorar este recurso natural apenas no final da década de 1990. O bambu se mostrou uma planta extremamente versátil, tendo suas propriedades muito semelhantes às da madeira, podendo atender aos mais diversos setores, desde alimentação até a construção civil. Devido a esses fatores se mostrou importante realizar o presente trabalho, que tem como tema a utilização do bambu na construção sul-americana, com ênfase para o Brasil.

A presente dissertação tem assim o intuito de apresentar um panorama da utilização do bambu na construção civil brasileira, verificando as principais aplicações na construção, construções que possuam o bambu, materiais derivados, propriedades e espécies de bambu mais utilizadas.

Numa primeira parte da dissertação, capítulos 2 e 3, é realizada de forma sucinta uma introdução geral ao tema, que inclui um enquadramento histórico e a distribuição geográfica do bambu no Mundo, a que se junta uma descrição botânica do bambu, com destaque para uma classificação taxonômica e a descrição das principais propriedades do bambu.

Depois, numa segunda parte da dissertação, capítulos 4 e 5, é realizado um levantamento das principais espécies utilizadas de bambu usadas na construção, seu cultivo e ações de melhoramento para o uso e são apresentados os principais produtos industrializados, baseados no bambu, e que são mais usados na construção.

Finalmente, numa terceira parte que inclui os capítulos 6 e 7, apresentam-se exemplos práticos de construções em bambu no Brasil e respetivamente enquadramento normativo. É realizada uma pormenorização construtiva dos principais elementos de uma construção vernacular em bambu e são apresentadas as principais normas sul-americanas, bem como suas orientações para execução e projeto, e alguns exemplos mais representativos de construções recentes em bambu do Brasil

PALAVRAS-CHAVE: Bambu, Construção civil, Construções vernaculares, Sul-americana, Brasil.

ABSTRACT

Civil construction requires a large amount of raw materials, renewable and non-renewable, therefore, pressuring the origin of these resources. The most used renewable inputs are wood, with a wide range of possible uses, such as formwork for concrete, coating or construction of structures. Despite the wood industry resorting to renewable materials, many of the wood species currently exploited have a slow growth cycle, which often determines the difficulty in supplying consumer sectors with some species.

Because of a gap in the market, a new alternative emerged, the bamboo. In fact, this input has been directly linked to the development of humanity for millennia. But it was not until the mid-twentieth century that the current commercial exploitation process of bamboo began. It was meant to become a substitute for traditional wood. This is mainly due to the fact that it presents an accelerated growth of up to 50 cm per day, depending on the species, something that is unimaginable in the traditional timber industry.

This movement occurred mainly in Southeast Asia and South American, and the reason for this is that people from these regions have been building with bamboo for thousands of years due to the abundance of raw material in these regions. Brazil in the other hand had only developed an interest in exploring this natural resource in the late 1990s. Bamboo proved to be an extremely versatile plant, having very similar “properties” to those of wood. It’s useful in a wide and diverse range of sectors, from food to civil construction. Because of the broad use of bamboo, I found it important to write this thesis, which has as its theme the use of bamboo in South American construction, with an emphasis in Brazil.

Thus, this dissertation aims to provide an overview of the use of bamboo in Brazilian civil construction, verifying the main use in constructions, constructions use bamboo, derived materials, properties and the most used bamboo species.

In the first part of the dissertation, chapters 2 and 3, a general introduction to the theme is presented, which includes a historical background and the geographic distribution of bamboo in the world, to which is added a botanical description of bamboo, with emphasis on an exhaustive taxonomic classification and description of the main properties of bamboo.

Then, in the second part of the dissertation, chapters 4 and 5, a survey of the main species of bamboo used in construction, its cultivation and improvement actions for its use is carried out, considering the main industrialized products, based on bamboo, which are most commonly used in construction.

Finally, in a third part that includes chapters 6 and 7, practical examples of bamboo constructions in Brazil and respective normative framework are presented. A constructive detailing of the main elements of a vernacular bamboo construction is carried out and the main South American standards are presented, as well as their guidelines for execution and design, some and some more representative examples of recent bamboo constructions in Brazil

KEYWORDS: Bamboo, Civil construction, Vernacular constructions, South American, Brazil.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. HISTÓRIA E DISTRIBUIÇÃO DO BAMBU NO MUNDO ..	5
2.1. ORIGEM	5
2.2. HISTÓRIA DO BRASIL E O BAMBU	6
2.3. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS BAMBUS	6
2.3.1. DISTRIBUIÇÃO DOS BAMBUS LENHOSOS	7
2.3.1.1. BAMBUS LENHOSOS PALEOTROPICAIS	8
2.3.1.2. BAMBUS LENHOSOS NEOTROPICAIS	8
2.3.1.3. BAMBUS LENHOSOS TEMPERADOS	9
2.3.2. DISTRIBUIÇÃO DOS BAMBUS HERBÁCEOS	10
3. TAXONOMIA E CARACTERÍSTICAS DO BAMBU	11
3.1. INTRODUÇÃO	11
3.2. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA	12
3.3. MORFOLOGIA DO BAMBU	12
3.4. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DO BAMBU	14
3.4.1. RAÍZES	14
3.4.2. RIZOMAS	15
3.4.2.1. RIZOMAS PAQUIMÓRFICOS (ENTOUCEIRANTE)	15
3.4.2.2. RIZOMAS LEPTOMÓRFICOS (ALASTRANTES)	15
3.4.2.3. RIZOMAS ANFIMÓRFICOS (METAMORFOS)	16
3.4.3. GEMAS OU BOTÕES GERMINATIVOS	17
3.4.4. COLMOS	17

3.4.5. FOLHAS.....	18
3.4.5.1. FOLHAS DO COLMO (BAINHAS).....	18
3.4.5.2. FOLHAS DOS GALHOS.....	19
3.5. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS.....	19
3.5.1. CRESCIMENTO.....	19
3.5.2. FLORAÇÃO.....	20
3.5.2.1. FLORES.....	20
3.5.2.2. FLORAÇÃO ANUAL.....	21
3.5.2.3. FLORAÇÃO ESPORÁDICA OU IRREGULAR.....	21
3.5.2.4. FLORAÇÃO GREGÁRIA.....	21
3.5.2.5. PROBLEMAS DO FLORESCIMENTO GREGÁRIO.....	22
3.5.2.5. PROBLEMAS DO FLORESCIMENTO GREGÁRIO.....	23
3.5.2.6. COMO PREVER O FLORESCIMENTO GREGÁRIO?.....	23
3.6. PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....	23
3.7. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	25
3.7.1. UMIDADE.....	25
3.7.2. MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	26
3.7.3. ESTABILIDADE DIMENSIONAL.....	27
3.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	28
3.8.1. CISALHAMENTO.....	28
3.8.2. COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS.....	28
3.8.3. COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	29
3.8.4. DUREZA.....	30
3.8.5. FENDILHAMENTO.....	30
3.8.6. FLEXÃO ESTÁTICA.....	30
3.8.7. TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	31
3.9. PROPRIEDADES QUÍMICAS.....	31
 4. BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO: MATERIAIS NATURAIS E MELHORADOS POR TRATAMENTO.....	 33
4.1. INTRODUÇÃO.....	33
4.2. ESPÉCIES UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	34

4.2.1. <i>DENDROCALAMUS ASPER</i> (BAMBU BALDE)	34
4.2.2. <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> (TABOCA)	35
4.2.3. <i>PHYLLOSTACHYS EDULIS</i> (BAMBU MOSSÔ)	35
4.2.4. <i>DENDROCALAMUS GIGANTEUS</i> (BAMBU GIGANTE)	36
4.2.5. <i>PHYLLOSTACHYS AUREA</i> (BAMBU DOURADO)	37
4.2.6. <i>BAMBUSA VULGARIS</i> (BAMBU GIGANTE VERDE)	38
4.2.7. <i>BAMBUSA VULGARIS VITTATA</i> (BAMBU BRASILEIRO)	38
4.2.8. <i>BAMBUSA TULDOIDES</i> (BAMBU CAIPIRA)	39
4.2. PRODUÇÃO DO BAMBU	40
4.3. PLANTIO	41
4.4. CORTE	42
4.5. SECAGEM	43
4.5.1. SECAGEM AO AR LIVRE	43
4.5.2. SECAGEM EM ESTUFAS	43
4.5.3. SECAGEM AO FOGO	44
4.6. PROTEÇÃO, CURAS E MELHORAMENTOS	44
4.6.1. PROTEÇÃO POR PROJETO	45
4.6.2. TRATAMENTOS NATURAIS	45
4.6.2.1. MATURAÇÃO OU CURA NA MATA	46
4.6.2.2. CURA POR IMERSÃO SIMPLES	46
4.6.3. TRATAMENTOS QUÍMICOS	46
4.6.3.1. PRODUTOS OLEOSOS	47
4.6.3.2. PRODUTOS SOLÚVEIS EM ÓLEO	47
4.6.3.3. PRODUTOS SOLÚVEIS EM ÁGUA	47
4.6.3.4. TRATAMENTO POR IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO BÓRICO E BÓRAX	47
4.6.3.5. TRATAMENTO BANHO A QUENTE	48
4.6.3.6. TRATAMENTO À VAPOR	48
4.6.4. MÉTODOS SOB PRESSÃO	49
4.6.4.1. TRATAMENTO EM AUTOCLAVE	49
4.6.4.2. TRATAMENTO BOUCHERIE	49
4.6.4.3. TRATAMENTO POR PRESSÃO HIDROSTÁTICA	50
5. PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS DE BAMBU	51

5.1. Introdução	51
5.1.1. Bambu laminado colado (BaLC)	52
5.1.2. Compensado Laminado de Bambu (Plybamboo)	53
5.1.3. Placa de aglomerado de bambu (aglomerado de partículas)	54
5.1.4. Lâmina de bambu	55
5.1.5. Painéis de partículas orientadas (OSB) baseados em bambu	56
5.1.6. Compósitos de bambu com outros materiais	57
5.2.6.1. Painéis sanduíches de bambu e madeira	57
5.1.6.2. PAINÉIS SANDUÍCHE DE BAMBU LAMINADO E DE AGLOMERADOS DE MADEIRA	57
5.1.6.3. Barro e bambu (pau-a-pique)	58
5.3.6.4. Betão armado e bambu	58

6. PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DE UMA CASA VERNACULAR BRASILEIRA EM BAMBU

6.1. INTRODUÇÃO	61
6.2. FUNDAÇÕES	63
6.2.1. Fundações isoladas	63
6.2.2. Fundação de laje de betão independente	64
6.2.3. ALVENARIA DE BLOCO OCO	65
6.2.4. ALVENARIA DE PEDRA BRUTA	65
6.2.5. FUNDAÇÕES INTEGRADAS NA LAJE DE BETÃO	66
6.2.6. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE FUNDAÇÕES EM BETÃO ARMADO	67
6.3. PILARES	67
6.4. PISOS	68
6.4.1. PISOS APOIADOS NO SOLO	68
6.4.2. PAVIMENTO COM PISO ELEVADO	69
6.4.3. PISO MISTO COM BETÃO LEVE	70
6.5. VIGAS	70
6.6. PAREDES	71
6.6.1. PAREDE DE BAJAREQUE	71
6.6.2. PAREDE PAU-A-PIQUE	72
6.6.3. PAREDE DE QUINCHA	73
6.7. COBERTURA	74

6.7.1. ESTRUTURA DE COBERTURA	74
6.7.2. REVESTIMENTOS DE COBERTURAS.....	75
6.7.2.1. TELHA CANUDO (TELHA ÁRABE)	75
6.7.2.2. TELHA DE BAMBU (ESCAMA DE PEIXE)	76
6.7.2.3. FERROCIMENTO.....	77
6.7.2.4. TRELIÇAS	78

7. USOS MODERNOS DO BAMBU E SEUS DERIVADOS NA CONSTRUÇÃO NO BRASIL..... 81

7.1. INTRODUÇÃO	81
7.2. ORIENTAÇÕES PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BAMBU - PESQUISA DE NORMAS NA AMÉRICA DO SUL	82
7.2.1. INTRODUÇÃO	82
7.2.2. NORMAS BRASILEIRAS	82
7.2.3. NORMA EQUATORIANA	83
7.2.4. NORMA PERUANA NTE E.100.....	84
7.2.5. NORMA COLOMBIANA NSR – 10.....	85
7.3. ORIENTAÇÕES PARA LIGAÇÕES E CONEXÕES DE ESTRUTURAS DE BAMBU - PESQUISA DE NORMAS NA AMÉRICA DO SUL	86
7.3.1. NORMA PERUANA NTE E.100.....	86
7.3.2. NORMA EQUATORIANA	90
7.3.3. NORMA COLOMBIANA NSR – 10.....	92
7.3. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES MODERNAS NO BRASIL	93
7.4.1 REGIÃO NORDESTE	93
7.4.1.1. BAHIA - ALBERGUE ECOLÓGICO.....	93
7.4.1.2. BAHIA - Fabrica de óleo de coco	95
7.4.1.3. Alagoas – Moradia Social.....	96
7.4.2 REGIÃO NORTE	97
7.4.2.1. Acre - Parque Ambiental Padre Paolino Baldazari	97
7.4.2.2. Acre - Quiosque de bambu	100
7.4.3. Região Sudeste	101
7.4.3.1. São Paulo - Centro de Cultura Max Feffer	101
7.4.3.2. Rio de Janeiro - Cúpula do anfiteatro Junito Brandão	103
7.4.3. Região Sul	104

7.4.4.1. Paraná - Espaço para oficinas sobre educação ambiental	104
7.4.4.2. Paraná - Espaço agroecologia	106
7.4.3. Região Centro-Oeste.....	107
7.4.5.1. Mato Grosso do Sul - Memorial da cultura indígena.....	107
7.4.5.2. Distrito Federal - Centro de educação SINPRO	108
 8. CONCLUSÃO	 111
8.1. Principais resultados obtidos	111
8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	116
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 117

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 – Distribuição Geográfica do Bambu	7
Fig. 2.2 - Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos (Bambuseae)	7
Fig. 2.3 - Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos paleotropicals (Bambuseae)	8
Fig. 2.4 – Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos Neotropicais (Bambuseae)	9
Fig. 2.5 - Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos temperados (Bambuseae).....	9
Fig. 2.6 - Distribuição Geográfica dos bambus herbáceos (Olyreae)	10

CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 – Estrutura do capítulo	11
Fig. 3.2 - Classificação científica do bambu – famílias biológicas	13
Fig. 3.3 - Estrutura anatômica do bambu	13
Fig. 3.4 – Raízes de bambu	14
Fig. 3.5 - Rizoma Paquimórfico	15
Fig. 3.6 - Rizoma Leptomórfico	16
Fig. 3.7 - Rizoma Anfimórfico	16
Fig. 3.8 – Gema em colmo de bambu	17
Fig. 3.9 - Estrutura interna e externa do colmo	18
Fig. 3.10 - Folhas dos galhos e colmos	19
Fig. 3.11 – Flor do bambu	20
Fig. 3.12 - Floração gregária	22
Fig. 3.13 - Corte transversal do colmo do bambu	24
Fig. 3.14 - Bambu sólido (<i>Thyrsostachys siamensis</i>) e bambu oco (<i>Dendrocalamus asper</i>).....	26
Fig. 3.15 – Direções anatômicas do bambu	27
Fig. 3.16 - Cisalhamento paralelo às fibras. Cisalhamento perpendicular às fibras	28
Fig. 3.17 - Teste de compressão perpendicular às fibras do bambu	29
Fig. 3.18 – Teste de compressão paralelo às fibras do bambu	29
Fig. 3.19 - Flexão de tira do bambu. Com a casca para cima e com a casca para baixo	30

CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 – Bambu balde jovem. Bambu balde maduro	34
Fig. 4.2 - Bambu Guadua angustifolia.....	35
Fig. 4.3 - Bambu mossô	36
Fig. 4.4 – Bambu gigante	37
Fig. 4.5 - Bambu dourado; Bengala e Muleta feitos com Bambu Dourado.....	37
Fig. 4.6 - Moita do bambu-açu; Caule do bambu-açu	38
Fig. 4.7 - Bambu brasileiro	39
Fig. 4.8 – Bambu caipira	39
Fig. 4.9 - Extração de bambu Guadua	40
Fig. 4.10 - Espaçamento de plantio e mudas do bambu.....	41
Fig. 4.11 – Corte correto e incorreto do bambu	42
Fig. 4.12 - Secagem de bambus ao ar livre	43
Fig. 4.13 - Secagem de bambus com maçarico.....	44
Fig. 4.14 - Bases de elevação para pilares; Estrutura de bambu protegida por beiral da cobertura	45
Fig. 4.15 – Imersão em água corrente	46
Fig. 4.16 - Reservatório e produtos químicos para tratamento de bambu.....	47
Fig. 4.17 - Reservatório para tratamento por imersão com uso de bórax e ácido bórico	48
Fig. 4.18 – Autoclave para tratamento dos bambus	49
Fig. 4.19 - Central de aplicação do tratamento Boucherie.....	49
Fig. 4.20 - Estante para armazenamento dos bambus	50

CAPÍTULO 5

Fig. 5.1 – Principais produtos industrializados do bambu.....	51
Fig. 5.2 - Bambu laminado (esquerda) e cortes transversais de diferentes estruturas (direita)	52
Fig. 5.3 - Bambu laminado e cortes transversais de diferentes estruturas.....	53
Fig. 5.4 – Esteiras (esquerda) e chapas (direita) de Plybamboo	54
Fig. 5.5 - Cavacos de bambu (esquerda) e aglomerado de bambu (direita)	55
Fig. 5.6 - Lâminas de bambu.....	56
Fig. 5.7 - Distribuição de camadas do OSB	57
Fig. 5.8 – Casa de pau-a-pique.....	58

CAPÍTULO 6

Fig. 6.1 – Ligação da sapata isolada com os pilares	64
Fig. 6.2 - Fundação isolada com pavimento elevado.....	64
Fig. 6.3 - Fundação isolada com laje de betão	65
Fig. 6.4 – Fundação com bloco oco	65
Fig. 6.5 - Fundação em pedra	66
Fig. 6.6 - Fundação radier	66
Fig. 6.7 - Fundação sapata corrida com radier	66
Fig. 6.8 – Preenchimento da ligação fundação/pilar	67
Fig. 6.9 - Ligação fundação/pilar	68
Fig. 6.10 - Piso direto no solo.....	69
Fig. 6.11 – Piso elevado com estrutura de bambu.....	69
Fig. 6.12 - Piso elevado com estrutura mista.....	69
Fig. 6.13 - Piso misto com betão leve	70
Fig. 6.14 - Viga composta	71
Fig. 6.15 – Parede bajareque.....	72
Fig. 6.16 - Parede de pau-a-pique	73
Fig. 6.17 - Encontro de paredes de pau-a-pique	73
Fig. 6.18 – Paredes de quinha	74
Fig. 6.19 - Estrutura de cobertura	75
Fig. 6.20 - Telhado com telhas do tipo “Canudo”	75
Fig. 6.21 – Pormenor da montagem do telhado com telhas “Canudo”	76
Fig. 6.22 - Processo de fabricação das telhas	76
Fig. 6.23 - Montagem do telhado com telhas tipo “escama de peixe”	77
Fig. 6.24 – Cobertura do tipo “Ferrocimento”	78
Fig. 6.25 - Treliças em bambu.....	79

CAPÍTULO 7

Fig. 7.1 – Corte Reto sem orelhas / Corte reto com orelhas	87
Fig. 7.2 - Corte biselado sem orelhas / Corte biselado com orelhas	87
Fig. 7.3 - Corte “boca de peixe” sem orelhas / Corte “boca de peixe” com orelhas.....	87
Fig. 7.4 – Corte “bico de flauta” sem orelhas / Corte “bico de flauta” com orelhas.....	87
Fig. 7.5 - Ligação com cinta metálica / Ligação por amarração.....	88

Fig. 7.6 - Ligação com parafuso / Ligação com tarugo	88
Fig. 7.7 - Preenchimento com argamassa / Ligação com parafuso e argamassa.....	89
Fig. 7.8 – Ligação por peça maciça	89
Fig. 7.9 - Ligação por chapa metálica.....	89
Fig. 7.10 - Ligação aparafusada.....	90
Fig. 7.11 – Ligação 90° com parafuso de tensionamento	91
Fig. 7.12 - Ligação 90° com meia cana	91
Fig. 7.13 - Ligação diagonal com bambu de apoio	92
Fig. 7.14 - Módulo de 6,40m x 6,40m.....	94
Fig. 7.15 – Pormenores construtivos	94
Fig. 7.16 - Corte construtivo.....	95
Fig. 7.17 - Estrutura da fábrica.....	96
Fig. 7.18 – Moradia social.....	96
Fig. 7.19 - Aplicação de argamassa.....	97
Fig. 7.20 - Construções no parque Padre Paolino	98
Fig. 7.21 – Maquete da cobertura da escola.....	99
Fig. 7.22 - Pormenores construtivos	99
Fig. 7.23 - Pormenores da ligação alvenaria/cobertura	100
Fig. 7.24 – Fachada do quiosque	100
Fig. 7.25 - Maquete do quiosque	101
Fig. 7.26 - Estrutura da cobertura	101
Fig. 7.27 – Fachada do centro cultural	102
Fig. 7.28 - Pormenor da cobertura.....	102
Fig. 7.29 - Estrutura interna da cúpula	103
Fig. 7.30 – Blocos pré-fabricados em betão.....	104
Fig. 7.31 - Amarrações das peças de bambu.....	104
Fig. 7.32 - Fachadas do Ekôa Park.....	105
Fig. 7.33 - Pré-fabricação das peças	105
Fig. 7.34 – Pormenores da estrutura.....	106
Fig. 7.35 - Pormenores internos da estrutura.....	106
Fig. 7.36 - Pormenores construtivos	107
Fig. 7.37 – Memorial da cultura indígena.....	107
Fig. 7.38 - Memorial da cultura indígena	108

Fig. 7.39 - Edifícios do centro de referência.....	109
Fig. 7.40 - Coberturas dos edifícios do centro de referência.....	109
Fig. 7.41 – Paredes de pau-a-pique.....	110

1

INTRODUÇÃO

1.1. OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

O tema desta dissertação é “Utilização de bambu na construção sul-americana – Revisão tecnológica”.

A história do desenvolvimento da América do Sul, principalmente a do Brasil é marcada por diferentes ciclos em que a exploração dos recursos naturais predominou, como por exemplo no primeiro ciclo da colonização portuguesa onde ocorreu a extração do Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata*), árvore que dá nome ao Brasil e que era predominante na Mata Atlântica. Tal também ocorreu no “Ciclo do Ouro”, onde ocorreu uma grande exploração dos minérios encontrados e que durou cerca de 3 séculos (XVI a XIX) ou ainda atualmente no “Ciclo do Agronegócio” onde predomina a exportação de soja e rebanhos para o abate.

No entanto, ao contrário do que ocorreu em diversos países sul-americanos onde a exploração de recursos naturais como o bambu influenciou um estilo de vida e por consequência as suas construções no interior menos urbano e desenvolvido, não se pode afirmar o mesmo com o Brasil. Apesar do uso do bambu estar ligado diretamente com as origens indígenas do país, a utilização do bambu na construção civil sofre resistência e até mesmo um certo preconceito.

Apesar de o Brasil possuir a segunda maior biodiversidade de bambu do mundo, superada apenas pela China, e uma matéria-prima disponível, por todo território nacional, e apesar de o bambu poder ter uma infinidade de usos, o bambu não é sequer visto atualmente como uma alternativa viável para a construção no Brasil. Por isso, são poucas as pesquisas financiadas desenvolvidas no Brasil que buscam usá-lo com elemento nas construções.

O bambu possui excelentes propriedades mecânicas como leveza, resistência, dureza, teor de fibra, flexibilidade e processabilidade, sendo ideal para diversos fins tecnológicos.

O bambu tem como característica mais representativa a sua forma tubular, que é estruturalmente estável, com alta resistência, dureza associada a uma elevada flexibilidade, tendo baixa massa específica, excelente relação entre a resistência mecânica e a massa do material e atinge baixos custos de fabricação o que torna ideal para diversos fins, fácil transporte e condições de trabalho e, portanto, significando menos custos de construção.

No entanto, ao contrário de outras cadeias produtivas brasileiras, como o eucalipto, onde o investimento do governo federal e das empresas é fundamental e tem sido forte e permanente, no caso do bambu, as universidades e seus pesquisadores têm de ser neste momento os principais responsáveis por tentar tornar possível estabelecer um ciclo econômico viável e sustentável para o bambu no Brasil e interessar a sociedade em geral na sua produção, exploração e utilização.

No entanto, o esforço realizado tem sido inferior ao desejável e assim a informação técnica e científica disponível no Brasil é ainda bastante escassa. Essa será porventura a razão principal a que se pode atribuir a pouca vontade da sociedade de usar o bambu de forma economicamente sustentável já que praticamente não está disponível informação técnica sob a forma de cursos, livros, manuais ou boletins técnicos que possam auxiliar os usuários e evidenciar os benefícios do material nas mais diversas aplicações.

Esta dissertação, pretende assim contribuir de forma ainda que modesta para preencher essa lacuna. Portanto, se mostrou interessante desenvolver um trabalho sobre um material tão rico como o bambu, tendo como objetivos fornecer ao leitor uma visão da situação atual do uso do bambu no Brasil, demonstrando técnicas e pormenorização em construções vernaculares e modernas, algumas das principais obras no Brasil (embora a maior que se analisou só tenha 1650 m² de área bruta), seus produtos e materiais derivados. Em síntese, é esse o objetivo desta dissertação.

Para isso, se fez necessário realizar uma pesquisa sobre sua distribuição, manejo, cultivo, melhoramento, propriedades e espécies mais cultivadas e usadas no Brasil.

Com o objetivo de melhor ilustrar o tema faz-se também uma análise sucinta das orientações para projeto, execução, conexões e ligações de estruturas de bambu, baseada nas principais normas da América do Sul, incluindo as mais recentes normas que são as do Brasil, publicadas em dezembro de 2020.

1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho de estudo e análise realizado nesta dissertação foi desenvolvido tendo como referência outros trabalhos que abrangem os mesmos temas aqui mencionados e diversas referências bibliográficas, das quais a mais relevante é o livro "Bamboo - The Gift of the GODS" [2] e o manual técnico "Manual de Construcción com Bambú" da editora Estudios Técnicos Colombianos Ltda [47], ambos produzidos pelo arquiteto e pesquisador colombiano Oscar Hidalgo Lopez e o livro "Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável" organizado por Fabiano Ostapiv, Lisiane Ilha Librelotto e desenvolvido pelo grupo de pesquisa Virtuhab/UFSC, [32].

Para este trabalho foi fundamental a produção da pesquisa com uma visão geral da atual situação do uso do bambu no Brasil, destacando suas aplicações técnicas e pormenorização para construção com bambu.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos:

- O presente capítulo 1, pretende ser a introdução e fazer uma breve apresentação do trabalho;
- No capítulo 2, faz-se uma pesquisa sucinta acerca do enquadramento histórico e a distribuição geográfica do bambu no mundo;

- No capítulo 3, é realizada uma síntese da classificação taxonômica, morfologia, e das principais características biológicas, fisiológicas, anatômicas, físicas, mecânicas e químicas do bambu;
- No capítulo 4, apresentam-se de forma breve as principais espécies de bambu utilizadas na construção civil, sua produção e melhoramentos para uma melhor utilização;
- No capítulo 5, apresentam-se alguns produtos industrializados, baseados em bambus, e que podem ser usados na construção corrente atual;
- No capítulo 6, é realizada uma descrição e pormenorização construtiva de uma casa vernacular brasileira em bambu;
- No capítulo 7, apresentam-se exemplos de usos modernos do bambu e seus derivados na construção no Brasil, bem como as principais normas sul-americanas de estruturas aplicáveis a bambu;
- No capítulo 8, apresenta-se um resumo do trabalho produzido, suas principais conclusões e a avaliação do cumprimento dos objetivos que foram propostos no início da dissertação.

2

HISTÓRIA E DISTRIBUIÇÃO DO BAMBU NO MUNDO

2.1. ORIGEM

A origem dos primeiros registros dos afloramentos dos bambus data do período cretáceo, quando surgiram as relvas e cereais, pouco tempo antes do aparecimento dos primeiros seres humanos, que ocorreram no período terciário. Os etimologistas não conseguem afirmar com precisão de onde surgiu o nome “bambu”. Muitos acreditam que o nome se originou do idioma malaio, dialeto dos povos que viviam na península Malaia, que corresponde atualmente à região do sul da Tailândia, as Filipinas e Singapura. Ao ouvirem as explosões resultantes das queimas dos bambus, essas fogueiras produziam um som como “Bam-boom”, pelo que se julga que esta onomatopeia do som gerado pelas explosões possa ter dado origem ao nome da planta que conhecemos hoje como bambu.

Um ponto importante a ser mencionado neste trabalho é que o bambu não é uma árvore, como muitas pessoas acreditam, porém, uma erva arborescente gigante, ou melhor dizendo, uma grama gigante lenhosa. A espécie de planta conhecida popularmente como bambu faz parte da subfamília da Bambusoideae, que por sua vez pertence à família das gramíneas. Além de gramíneas podemos chamar os membros da subfamília Bambusoideae como, “capim bambusoide” devido a sua anatomia foliar característica.

Esses capins podem variar de centímetros de altura, como as espécies da família Raddiella que nascem em rochas próximas de córregos de águas nas Guianas, na América do Sul, ou a espécies imensas de até 40 metros de altura, como o Dendrocalamus giganteus, da Malásia.

O desenvolvimento da humanidade está ligado diretamente a família das gramíneas, porque diversos alimentos que fizeram e fazem parte da base alimentar de diversos povos são membros dessa família, tais como, o arroz, a aveia, a cana-de-açúcar, o centeio, a cevada, o milho e o trigo.

O bambu é elemento principal de uma das 7 maravilhas do mundo feita pelo homem, o Taj Mahal. Este símbolo da Índia tem a estrutura da cúpula feita com bambus dobrados. Este elemento tem grande influência na arquitetura oriental, já que muitas construções possuem cúpulas, telhados abobadados, janelas e portas em semiarcos que levam o bambu em sua estrutura.

Ainda hoje o bambu tem forte ligação com as construções em diversas zonas do mundo, por exemplo, na região de Bengala na Índia, as cabanas, estruturas de pontes e dos templos continuam a serem construídas com bambu. Mas o uso do bambu atual nas construções vai muito além da influência histórica e na arquitetura. Em Bengala, o uso de bambus nas estruturas de cobertura, que possuem quatro quedas d'água com dupla curva são para resistir as intensas chuvas, fortes ventos e tempestades frequentes que atingem essa zona.

Um grande feito histórico que teve a contribuição do bambu foi a fabricação da lâmpada incandescente por Thomas Edison, o ponto crítico desse projeto era encontrar um material forte, resistente à alta temperatura e que não queimasse para produzir os filamentos das lâmpadas. As primeiras lâmpadas comerciais fabricadas por Edison possuíam filamentos feitos com bambu carbonizado.

2.2. HISTÓRIA DO BRASIL E O BAMBU

A história do Brasil está entrelaçada com o bambu. Na realidade, está ligada ao primeiro manuscrito sobre o achamento do Brasil, a famosa “Carta a el-Rei Dom Manuel” de Pero Vaz de Caminha. O escritor, cita cerca de 40 nomes de plantas. Dentre estes nomes, com certeza podemos encontrar cerca de três nomes que se referem aos bambus encontrados na costa litorânea do Brasil. [12]

No Brasil existem mais de 30 nomes para chamarmos as espécies de Bambu. Podemos citar os mais populares como: Cambajuva, Cambaúba, Criciúma, Taboca e taquaras. Estes nomes variam com a região de ocorrência, mas o que a maioria tem em comum é sua origem indígena, tendo como principal origem etimológica à língua Tupi-Guarani. [13]

O bambu vem fornecendo matéria prima para o povo brasileiro desde o primórdio dos tempos, sendo componente importante para o desenvolvimento da cultura nacional. É material imprescindível para a construção das ocas (habitações dos povos indígenas); Instrumentos de caça como: varas, arcos, flechas, facas, lanças, zarabatanas (arma feita com caule oco de bambu para lançar dardos ou outros objetos); Balaios e Cestos para o transporte de alimentos; Peneiras para fabricação de alimentos; Instrumentos musicais: Atabaque (tipo de tambor), Berimbau (instrumento de corda), Caxixi (tipo de chocalho), Marimba (semelhante ao xilofone) e Pífano (tipo de flauta transversal) e diversos outros elementos que fizeram e fazem parte do uso cotidiano, principalmente das populações indígenas e de zonas rurais.

O bambu também possui papel importante na realização de um sonho antigo da humanidade, o de voar. No ano de 1901, o inventor Alberto Santos Dumont, considerado por muitos o pai da aviação moderna, projetou e voou do Aeroclube da França no Parque Saint Cloud até a Torre Eiffel, em Paris, com o dirigível N-6, que usava bambu na confecção da sua estrutura. Já durante o ano de 1907, Santos Dumont construiu e alçou voo com o 14-bis que viria a ser o primeiro avião do mundo, utilizando em sua estrutura o bambu. [2]

2.3. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS BAMBUS

No planeta existem por volta de 1600 espécies de Bambu (Bambusoideae) que se subdividem em dois grupos, as espécies do grupo Bambuseae que são conhecidos como bambus lenhosos e o Olyrae que são conhecidos por bambus herbáceos. Estes grupos são subdivididas em aproximadamente 121 gêneros

sendo que 25 são herbáceos e 96 lenhosos. A divisão global em percentual do bambu é aproximadamente de: 3% na África, 30% na América e 67% na Ásia e Oceania. [2]

Na figura 2.1. é possível ver a distribuição geográfica das Bambusoideae e Olyreae que originalmente eram achadas na maioria dos continentes, com exceção para a Antártida e Europa. Essas plantas podem ser encontradas em zonas com clima tropical, subtropical e temperadas, e sua zona de ocupação original era restrita pelos paralelos 46° Norte e 47° Sul e por uma altitude na zona dos 4100 metros acima do nível do mar.

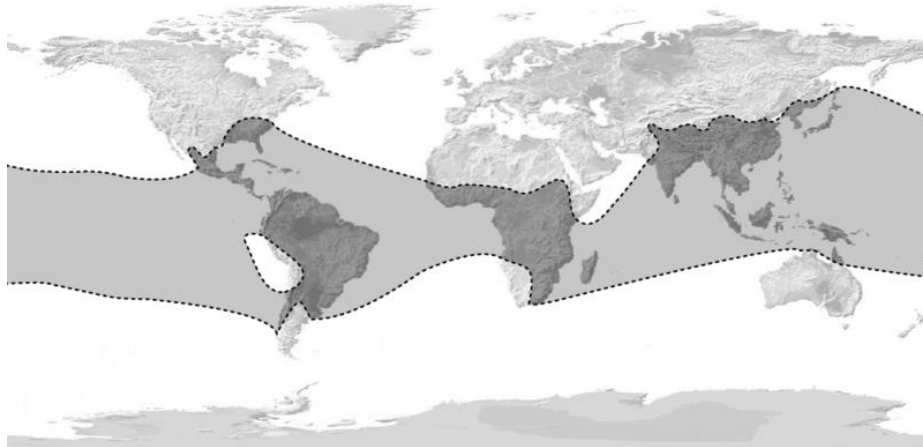


Fig. 2.1 – Distribuição Geográfica do Bambu [1]

2.3.1 DISTRIBUIÇÃO DOS BAMBUS LENHOSOS

No que se refere aos bambus lenhosos (Bambuseae), tal como representado na figura 2.2., a distribuição é mais abrangente, tanto geograficamente quanto em altitude, em relação aos herbáceos (Olyreae). Entre os bambus lenhosos existem três subgrupos principais que surgiram de novas pesquisas: bambus lenhosos temperados do Norte, os bambus lenhosos paleotropicals e os bambus lenhosos neotropicais. [7]



Fig. 2.2 – Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos (Bambuseae) [4]

No continente americano estão presentes 40% dos tipos dos bambus lenhosos do mundo, em torno de 320 espécies divididas em 22 gêneros. Segundo pesquisas, o país com o maior número de espécies de bambus lenhosos é o Brasil, possuindo cerca de 81% dos gêneros. [9]

Os bambus lenhosos são caracterizados por possuírem rizomas resistentes, desenvolvidas, e são plantas robustas, com brotos resguardados por folhagem caulinar, complexo grupo de ramificação, folhas decíduas, florescimentos cíclicos e monocárpicas e por crescerem expostas e sendo polinizadas pelo vento. [10]

2.3.1.1 BAMBUS LENHOSOS PALEOTROPICAIS

Os bambus lenhosos paleotropicais (PWB) fazem parte do grupo Bambuseae (Bambusoideae), que possui 48 gêneros, divididos em 406 espécies, como é visto na figura 2.3., e possuem grande disseminação por três continentes, África, Ásia e Oceania, sendo encontrados em zonas de clima subtropical e tropical. Existem muitas espécies e grande diversificação em relação a morfologia: existem grupos que crescem subindo e se entrelaçando com as árvores das florestas tropicais, por exemplo a *Dinochloa* e *Melocalamus*, enquanto outros bambus geram frutos parecidos com figos, como o *Melocanna*, por exemplo *Dendrocalamus giganteus*. [11]

Nesta tribo dos bambus lenhosos paleotropicais estão os maiores espécimes do grupo das gramíneas, como o *Dendrocalamus giganteus* e o *Dendrocalamus sinicus*, que podem passar dos 35 metros de altura e mais de 30 cm de diâmetro. Muitas das espécies de bambu que possuem maior valor econômico fazem parte dos PWB, como o, *Dendrocalamus latiflorus*, *Bambusa textilis*, *Bambusa oldhamii* e *Bambusa emeiensis*. A identificação tribal e subtribo mais recente de bambus admite quatro subtribos nos bambus lenhosos paleotropicais: Bambusinae, Hickeliinae, Melocanninae e Racemobambosinae. [5]



Fig. 2.3 – Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos paleotropicais (Bambuseae) [4]

2.3.1.2 BAMBUS LENHOSOS NEOTROPICAIS

O grupo dos bambus lenhosos neotropicais (BLN) faz parte de um clade nativo do ocidente, isso quer dizer que todos os indivíduos desse grupo são originários do mesmo ancestral. Os indivíduos deste grupo são divididos em três subgrupos: *Arthrostylidiinae*, *Chusqueinae* e *Guaduinae*. Os bambus lenhosos neotropicais como visto na figura 2.4., estão presentes desde o Centro Sul da América do Sul até o norte do México, estando presentes também no Panamá, Costa Rica e nas zonas do Andes, e ao nível do mar podem ser encontrados até 4000 metros de altitude.



Fig. 2.4 – Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos Neotropicais (Bambuseae) [4]

Na América existem cerca de 46 gêneros e em torno de 515 espécies. No Brasil detêm a maior floresta nativa de bambu do mundo, fica no estado do Acre, na região Norte do país, uma área com cerca de 4,5 milhões de hectares, o que representa mais de 20% de todo o bambu plantado no planeta. O país que possui a maior diversidade de espécies dos bambus neotropicais é o Brasil, além disso no Brasil se encontra a região com mais endemismos e diversidade desse grupo. Está presente por exemplo na Mata Atlântica da Bahia. Nesta zona podemos encontrar 22 gêneros, o que representa cerca de 48% de toda classe neotropical sendo que, 5 são restritos a Mata Atlântica da Bahia. Devemos considerar também a zona do caribe, região dos Andes e América central possuem uma grande diversidade e um número significativo de espécies endêmicas dessas regiões. [6]

2.3.1.3. BAMBUS LENHOSOS TEMPERADOS

Os Bambus lenhosos temperados (Arundinarieae), possuem apenas um subgrupo o arundinariinaee. Este tipo de bambu é mais encontrado em zonas com climas temperados e temperaturas mais frias. Como é visto na figura 2.5, ele é encontrado na costa do Atlântico da América do Norte, Japão, sudeste asiático, Madagascar e algumas localidades do continente africano. [8]



Fig. 2.5 – Distribuição Geográfica dos bambus lenhosos temperados (Bambuseae) [4]

2.3.2 DISTRIBUIÇÃO DOS BAMBUS HERBÁCEOS

Os bambus herbáceos (Olyreae) como é visto na figura 2.6, são distribuídos entre o México aproximadamente na latitude 29 ° norte e ao centro-sul da América do Sul na latitude 34° sul, e estão contidos em zonas com elevado teor de umidade e elevadas temperaturas, sendo encontradas em áreas com vegetação densa, como florestas que proporcionam bastante sombras. Dificilmente elas são identificadas em zonas acima de 1100 metros do nível do mar. [5]



Fig. 2.6 – Distribuição Geográfica dos bambus herbáceos (Olyreae) [4]

Como visto anteriormente na figura 2.2, podemos ver em tom de laranja mais claro a área de atuação do bambu *Olyra latifolia*. Esta planta é pouco danosa ao ambiente, e não é espantoso, que seja a espécie de bambu herbáceo neotropical que possui maior quantidade, ocupando as Zonas da África Tropical e de Madagascar. [4]

3

TAXONOMIA E CARACTERÍSTICAS DO BAMBU

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar de forma sucinta a classificação taxonômica, morfologia, características biológicas, características fisiológicas, propriedades anatômicas, propriedades físicas, propriedades mecânicas e propriedades químicas do bambu.

Na figura 3.1 podemos entender melhor a estrutura do capítulo.

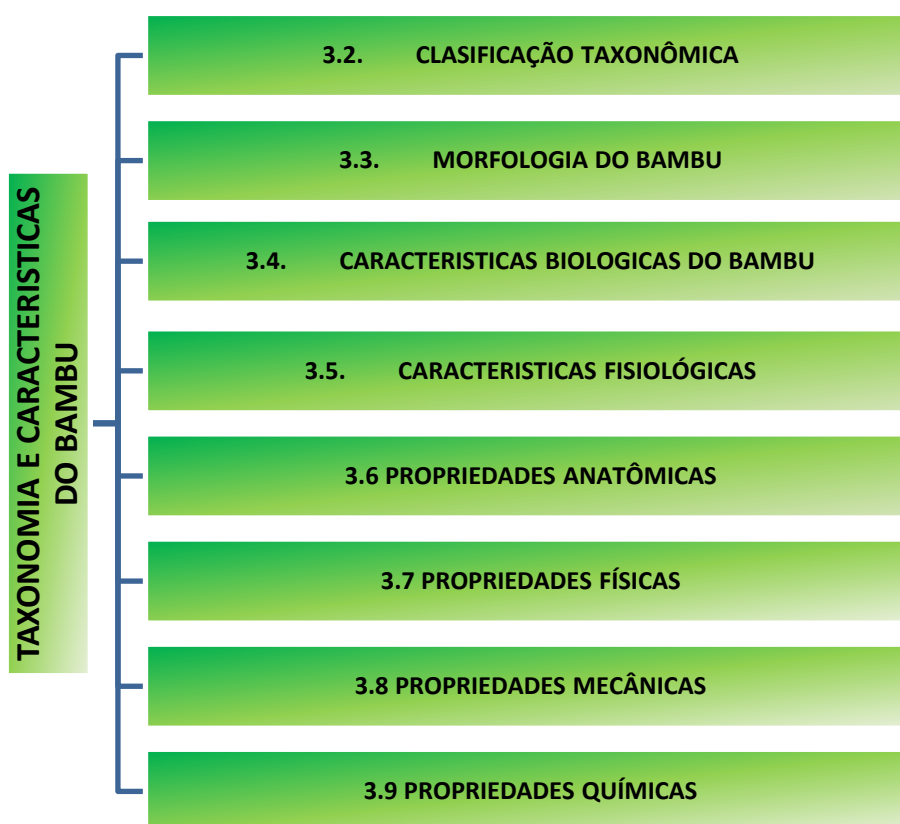


Fig. 3.1 – Estrutura do capítulo 3

As informações foram adquiridas por meio de consulta à trabalhos de pesquisadores especialistas e de referência no assunto. E optou-se por priorizar as pesquisas desenvolvidas principalmente na América do Sul, tendo como ênfase o Brasil.

A identificação de uma espécie ou gênero de bambu é um trabalho muito exigente, pois o bambu é uma planta que ainda é pouco estudada, e ainda é mais difícil no Brasil pois são raros os especialistas qualificados para distinguir um tipo de bambu de centenas de outros. Para uma pessoa que não entende do assunto, todos os bambus são muito semelhantes e às vezes nem parecem ser diferentes uns dos outros, no decorrer do capítulo entenderemos melhor suas características e diferenças.

3.2. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA

A classificação taxonômica dos bambus é definida com base nos aspectos morfológicos dos seus componentes, como os rizomas, gemas, colmo, nós, entrenós, galhos, folhas e flores. Depois dessa classificação os bambus são divididos por espécies.

Na figura 3.2 à frente, fica clara a classificação do bambu. Primeiramente, o bambu pertence ao domínio das Eucariontes, este domínio engloba todos os seres vivos que tenham células que sejam cercadas por uma membrana. Pertence ao reino Plantae, conhecido também como reino vegetal, onde se encontram todas as plantas. Seguindo a hierarquia taxonômica chegamos ao Filo dos espermatófitos, que são todas as plantas que possuem sementes. Tendo como classe à Liliopsida, é o grupo das plantas angiospermas, que tem como características um par de folhas embrionárias que é chamado de Cotilédone, raízes ramificadas e folhas paralelinérveas, onde as nervuras das folhas são paralelas entre si. Pertencendo a subclasse das commelinidae devido ao seu sistema taxonômico. Fazendo parte da ordem das Poales, que são as plantas que possuem flor, tendo como família a Poaceae, também chamada de gramíneas, onde está presente os capins, gramas e relvas. E por fim o bambu pertence a subfamília Bambusoideae, onde se encontram todas as suas mais de 1200 espécies. [16] [17]

3.3. MORFOLOGIA DO BAMBU

A maior parte das classificações dos bambus é relacionado com os aspectos morfológicos, devido a isso se faz importante a sua caracterização morfológica. No entanto, um número baixo de espécies possui suas características corretamente registradas, atrapalhando a utilização de seus aspectos fenotípicos. Este problema é acentuado quando vamos realizar trabalhos taxonômicos, pois, tipicamente usamos informações relacionadas com a florescência do bambu. [15] [16]

A estrutura do bambu é composta por basicamente: Rizomas, Colmo, Galhos, folhas e flores, sendo que estes elementos são subdivididos em duas partes, a subterrânea e a aérea. Na parte subterrânea temos as raízes e rizomas que podem ser paquimorfo, de crescimento monopodial que é originado de uma única gema apical, ou leptomorfo, com crescimento simpodial que é originado de várias gemas. A principal diferença é que, espécies de rizoma paquimorfo se desenvolvem em forma de touceiras, já as espécies de rizoma leptomorfo se desenvolvem por meio de caules alastrantes. [17]

A parte aérea das gramíneas é chamada de colmo, sendo composto por nós e entrenós em série. Os colmos apresentam formas variadas, podem ser curvados ou retos, sólidos ou flexíveis. Podem ir de

alguns milímetros até mais de 30 centímetros de espessura e em relação ao seu comprimento ele pode variar de alguns centímetros até mais de 40 metros. [17]

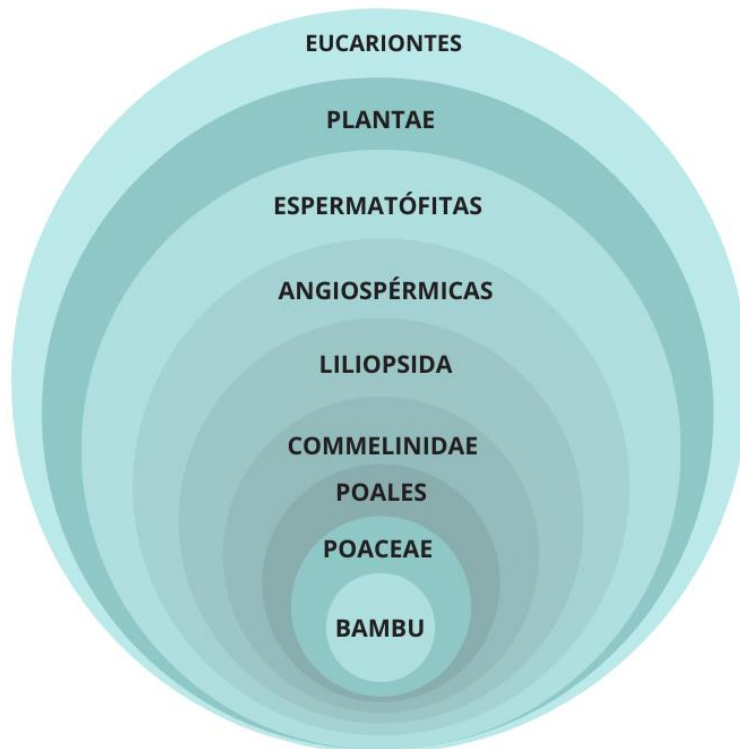


Fig. 3.2 – Classificação científica do bambu – famílias biológicas [17]

Na figura 3.3 podem ver-se os principais componentes dos bambus. Depois do colmo atingir o tamanho máximo surgem os ramos que brotam dos nós e são protegidos pela bainha, após o surgimento dos ramos nascem as folhas.

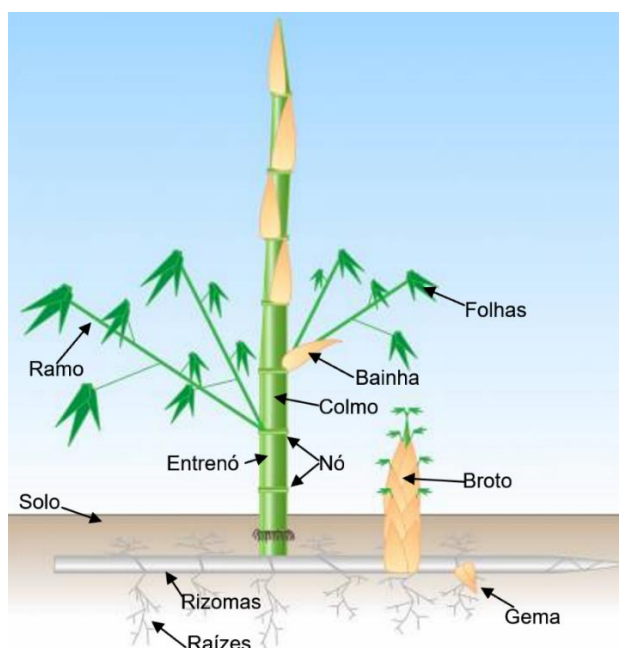


Fig. 3.3 – Estrutura anatômica do bambu [14]

As raízes tem a função de captar água e nutrientes do solo que serão distribuídos por toda a planta, além disso é responsável por fixar a planta no terreno. As raízes possuem a capacidade de acumular amido, apesar que nos bambus este acúmulo ocorre essencialmente nos rizomas. [8]

Na figura 3.4 abaixo, podemos ver a diferença entre raízes e rizomas. Sendo que a estrutura anatômica das raízes do bambu varia muito, e tem função na caracterização taxonômica das espécies. Além disso, o sistema radicular do bambu tem a capacidade de se adaptar à muitas variedades de condições e é mais eficaz do que outras gramíneas em diversos pontos.

3.4. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DO BAMBU

Nesta parte do trabalho irei abordar de maneira objetiva as características biológicas das principais partes do bambu que já foram citadas anteriormente, assim entenderemos melhor o motivo de o bambu ter inúmeras funções, ser uma das plantas mais resistentes e adaptáveis aos mais diversos ambientes.

A união dessas características permite que o bambu seja usado para as mais diversas finalidades. É largamente usado para a confecção de artesanatos, itens para a cozinha, fabricação de móveis e medicina alternativa. Podendo ser utilizados como recursos naturais para proteger e restaurar áreas degradadas, sequestro de carbono e prevenir à erosão. Hoje em dia, a construção civil é responsável por grande parte do consumo desse material que tem crescido significativamente nos últimos anos.

3.4.1 RAÍZES

As raízes do bambu são estruturalmente diferentes dos rizomas e colmos porque não são divididas em nós e entrenós. No bambu, a maioria dos sistemas radiculares são formados por raízes adventícias, que se desenvolvem de forma independente da raiz primária, e sim, a partir dos nós na base do rizoma e do colmo. O sistema radicular forma uma sofisticada e ampla rede, crucial para o crescimento e desenvolvimento de cada planta. [8]

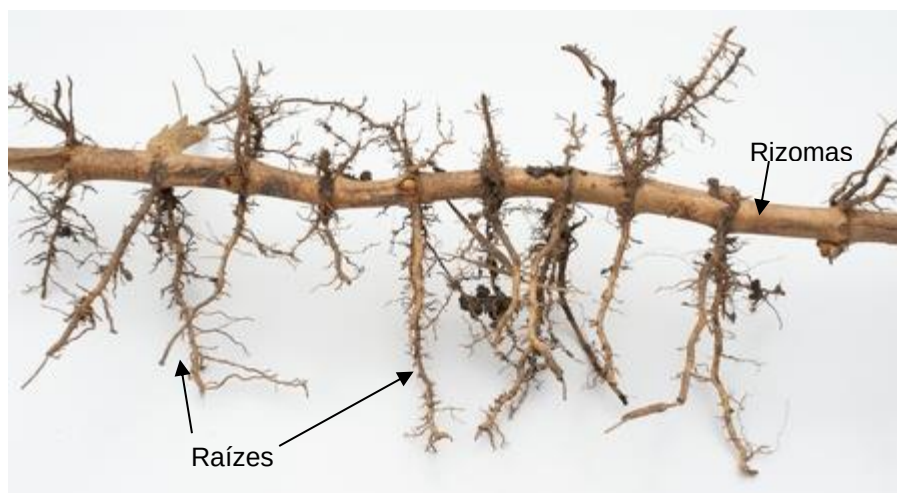


Fig. 3.4 – Raízes de bambu [14]

3.4.2 RIZOMAS

A parte subterrânea dos bambus, é constituída por rizomas juntos com as raízes. Os rizomas são caules subterrâneos que auxiliam o bambu a ficar fixo no solo. Além disso é responsável por armazenar, transportar água e nutrientes para o restante da planta, sendo responsável também por armazenar a maior parte do amido. A estrutura dos rizomas é composta por partes alternadas em nós e entrenós, sendo mais desenvolvidas nos bambus lenhosos do que nos herbáceos. Esta parte é encarregada pela geração de novas gemas, brotos e raízes. Existem três grupos de rizomas, conforme abaixo se descreve. [8]

3.4.2.1 RIZOMAS PAQUIMÓRFICOS (ENTOUCERANTE)

Também conhecida por simpodial ou não invasivas. Esses rizomas tem como características serem curtos e largos. Têm forma de bulbos, onde o diâmetro no centro é maior do que nas extremidades, sendo parcialmente curvo, e normalmente com largura superior ao colmo que será gerado. Os entrenós não possuem simetria, são sólidos, tem a largura maior do que o comprimento, sendo que o lado de maior largura é onde vai surgir a gema. Os nós não protuberantes ou inflados. As gemas laterais são únicas e apenas se tornam outros rizomas. As raízes adventícias ficam na parte de baixo do rizoma. Bambus de zonas tropicais normalmente possuem esse tipo de rizoma. Na figura 3.5 podemos visualizar a estrutura do rizoma. [8][10]

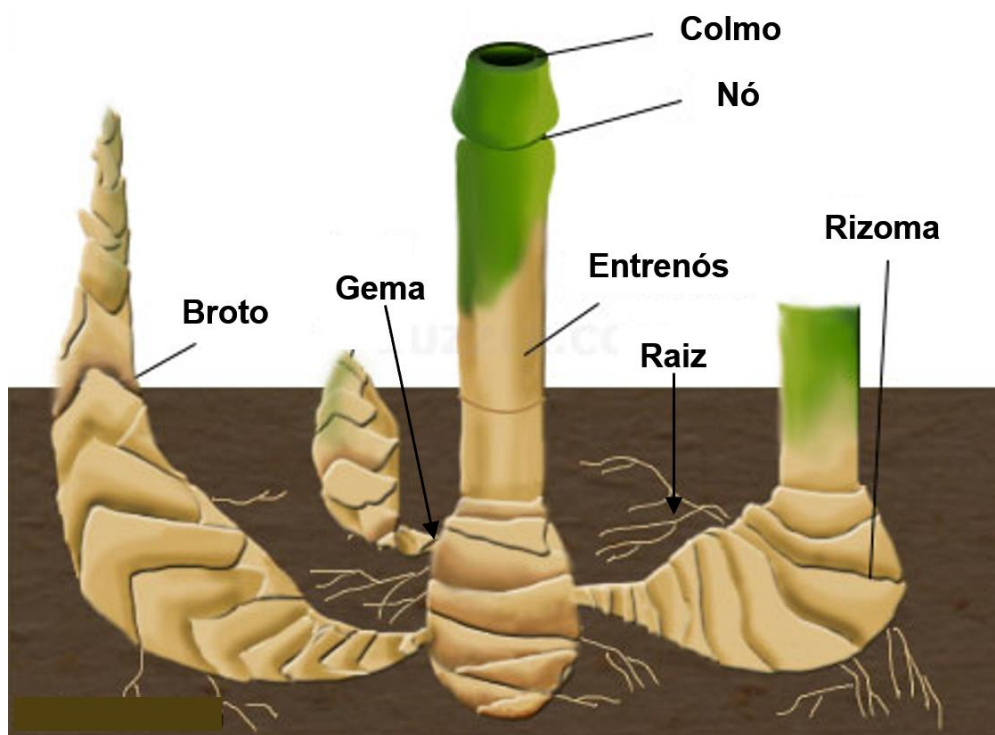


Fig. 3.5 – Rizoma Paquimórfico [19]

3.4.2.2 RIZOMAS LEPTOMÓRFICOS (ALASTRANTES)

Também conhecidos por monopodiais ou invasivas, estes rizomas tem como características serem compridos e finos. Têm forma de cilindro ou semicilindros, sendo relativamente retos, e normalmente com largura menor que o colmo gerado. Já os entrenós possuem simetria, em geral são ocos. Os nós

podem ser ou não protuberantes ou inflados. As gemas laterais são únicas e podem gerar colmos ou em alguns casos novos rizomas. No rizoma leptomórfico, as raízes adventícias podem ou não estar presentes, mas quando estão podem aparecer em qualquer zona do rizoma. Bambus de zonas com climas mais frios ou temperados normalmente possuem esse tipo de rizoma. Na figura 3.6 abaixo, podemos visualizar a estrutura deste rizoma. [8][10]

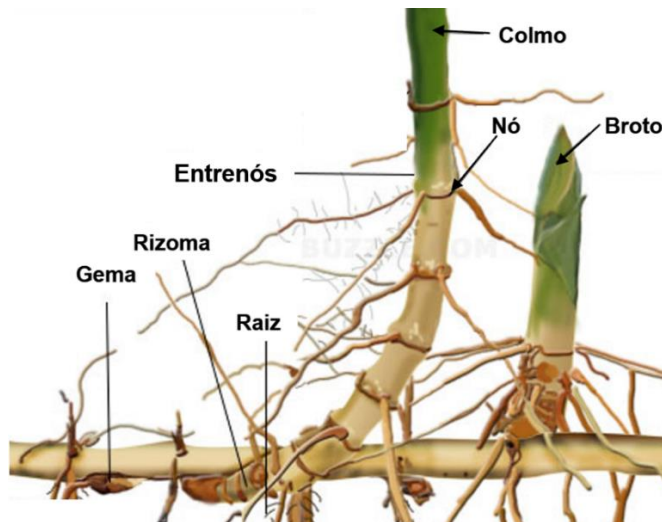


Fig. 3.6 – Rizoma Leptomórfico [19]

3.4.2.3 RIZOMAS ANFIMÓRFICO ANFIMÓRFICOS (METAMORFOS)

Também conhecidos por anfipodiais, estes rizomas possuem as características dos dois rizomas citados anteriormente, sendo capazes de reproduzir dois tipos de rizomas em uma única planta. As gemas do tipo monopodial são responsáveis por principalmente gerar outros rizomas, já as gemas do tipo simpodial são responsáveis por gerar novos colmos. Esse rizoma pode ser encontrado no continente americano, nas espécies *Chusquea Fendleri* e *Guadua Angustifolia* de bambu.

Na figura 3.7 abaixo, podemos visualizar a estrutura do rizoma. [2][8]

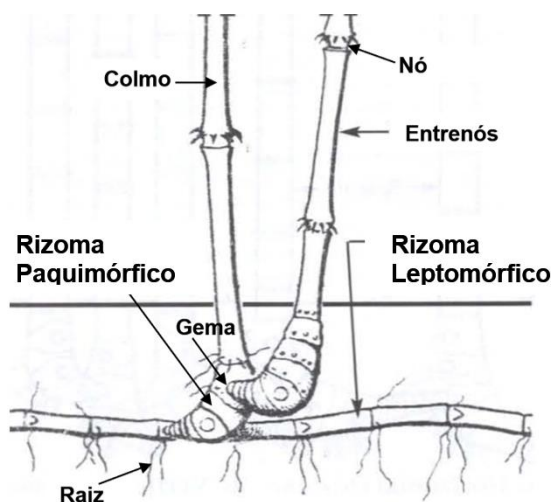


Fig. 3.7 – Rizoma Anfimórfico [2]

3.4.3 GEMAS OU BOTÕES GERMINATIVOS

As gemas ou botões germinativos podem ser encontradas nos rizomas ou nos nós dos colmos do bambu. É nesse ponto que são gerados os novos rizomas ou brotos. Nas gemas se encontram as células de crescimento, elas podem hibernar ou se germinarem. [2]

As gemas com menos de um ano, não estão prontas para gerar novos rizomas ou brotos. As gemas de 1,5 anos a 3 anos possuem uma capacidade maior de gerar outros partes, devido a sua maturidade e vitalidade. Com cerca de 5 anos as gemas se tornam inférteis e já podem morrer. Na figura 3.8, podemos ver a gema em um nó no colmo do bambu. [10]



Fig. 3.8 – Gema em colmo de bambu [20]

3.4.4 COLMOS

A parte principal do bambu é chamada de colmo. Criando uma equivalência com as árvores, os caules, são chamados de colmos nos bambus.

Os colmos são originados dos botões laterais ativos que se encontram nos nós dos rizomas. Nesses botões são gerados os brotos, que quando surgem na superfície, já possuem a largura da base definida, isso quer dizer que já temos a largura máxima que o colmo pode atingir em sua vida. Nas árvores de madeira maciça, o diâmetro do caule aumenta com a idade, isso não ocorre com o bambu. Um broto que possui base com diâmetro de 20 cm, vai gerar um colmo com diâmetro de 20 cm. [2] [8]

A zona apical (ponta do broto), apresenta um crescimento onde a ponta fica estreita, dando ao colmo uma forma de funil. Existem espécies de bambu que possuem um crescimento acelerado, sendo capazes de crescerem até 90 cm em um único dia. É um crescimento de aproximadamente 3,75 cm por hora. Essa fase de crescimento primário do colmo pode ser concluída em um mês ou em espécies gigantes até seis meses. [2] [10]

Na maioria dos casos, o caule é constituído por partes mais ou menos cilíndricas e ocas, apenas algumas espécies são maciças, como por exemplo as do grupo da *Chusquea* e o bambu *Dendrocalamus strictus*. Essas partes são os entrenós, separadas por nós na parte externa e diafragmas na parte interna, como pode ser visto na figura 3.7. Os diafragmas tem a função de enrijecer a estrutura do bambu, dando ao colmo maior resistência às forças de compressão e maior resistência a esmagamentos laterais. Caso aconteça uma fissura no colmo, a zona do nó, tende a impedir ou reduzir sua propagação. Nas paredes dos colmos é que se encontra a chamada madeira do bambu. [8]

Muitos bambus possuem uma substância branca na superfície externa do caule, semelhante à cera, conforme mostrado na Figura 3.9 abaixo. Este material só é encontrado em caules jovens que acabaram de surgir e tem como fundamental atribuição diminuir o atrito entre o caule em crescimento e a capa protetora e desempenhar um papel de lubrificante. [10]

O caule do bambu está ligado diretamente as principais partes, como os rizomas, as raízes e servindo de suporte para ramos, folhas, frutos e gemas.

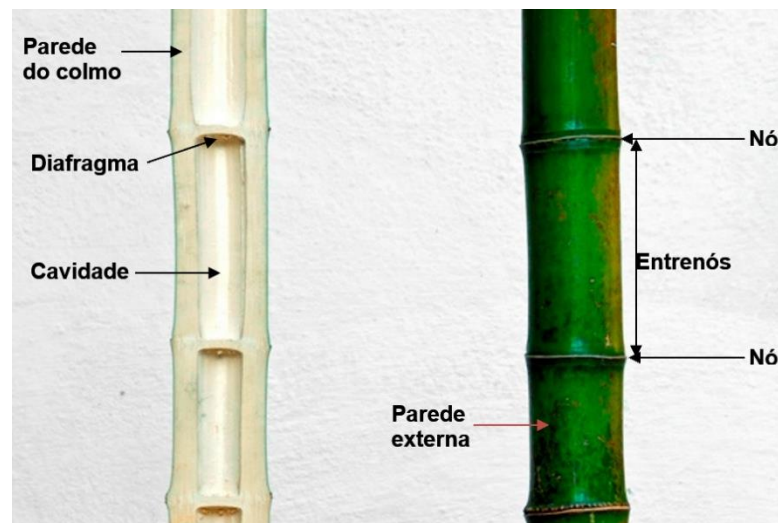


Fig. 3.9 – Estrutura interna e externa do colmo [21]

3.4.5 FOLHAS

3.4.5.1. FOLHAS DO COLMO (BAINHAS)

Chamadas popularmente de bainhas, são às folhas do colmo com lâminas reduzidas e uma bainha muito desenvolvida. Essas folhas do colmo possuem diversas funções, sendo a principal a proteção das gemas ou botões. Este grupo de folhas criam uma espécie de escudo que protege os brotos durante seu crescimento e desenvolvimento do colmo. Além do mais, as folhas do funcionam como uma forma para dar mais sustentação ao novo broto, como pode ser visto na figura 3.10 abaixo.

Todas as folhas de colmo do bambu possuem normalmente uma superfície interna lisa, o que auxilia no desenvolvimento acelerado do bambu. De outra forma, a parte externa da folha do colmo pode ser áspera. Esses pelos da folha do colmo ajudam a preservar os brotos do ataque de animais que habitualmente se alimentam de folhas mas não querem mastigar algo que causa irritação.



Fig. 3.10 – Folhas dos galhos e colmos [33]

3.4.5.2. FOLHAS DOS GALHOS

Além de trocar líquidos e gases com o ambiente exterior e transportar seivas e nutrientes, as folhas são responsáveis por realizar a fotossíntese e auxiliar na nutrição para o crescimento do bambu. Na figura 3.8 mostrada anteriormente, são indicadas as folhas dos ramos de planta.

Os bambus realizam diversos serviços ambientais importantes, como proteger o solo da luz solar, da chuva e do vento, diminuindo a erosão do solo e contribuindo para um microclima mais agradável.

Geralmente, as folhas de bambu caem e são substituídas por novas, que depositam uma boa quantidade de matéria orgânica no solo, como foi visto anteriormente na figura 3.8. As folhas geralmente caem em um ou dois anos e, para algumas espécies, esse período pode ser mais longo.

As folhas que caem no solo servem para proteger o terreno dos raios solares no período das secas, criando uma proteção térmica. Durante o período chuvoso, servem para enriquecer o solo com o transporte dos nutrientes pela chuva, além de promover um ambiente favorável aos insetos e também à reprodução de fungos e microrganismos em decomposição, necessários ao ciclo de nutrientes da planta.

3.5. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

3.5.1 CRESCIMENTO

Os bambus apresentam um crescimento acelerado, espécies como o bambu gigante chinês apresentam crescimento diário de 90 cm. Mas o recorde de crescimento diário pertence a um espécime do tipo *Phyllostachys Reticulata* que cresceu incríveis 121 cm em 24 horas. [2] [10] [22]

O crescimento do bambu pode ser dividido em duas partes, a parte subterrânea que cresce durante as estações mais frias do ano e a parte aérea que cresce durante as estações mais quentes. Esse desenvolvimento se deve a uma técnica de sobrevivência da planta que de seguida se descreve.

A planta busca durante as estações mais frias armazenar nutrientes em seus rizomas visando proporcionar um crescimento acelerado da parte aérea para que possa atingir sua altura máxima no período de maior incidência solar, buscando assim facilitar a realização da fotossíntese pela planta.

Segundo diversas pesquisas, o desenvolvimento diário do bambu está ligado diretamente a temperatura e umidade no local. Lugares com temperaturas mais elevadas e com nível de umidade elevado, os bambus terão comportamento noturno, buscando uma temperatura mais amena para crescerem (de noite). Já em zonas que apresentam temperaturas mais frias, os bambus buscam se desenvolver durante o dia, para evitar as temperaturas mais baixas que ocorrem durante as noites.

Em bambus com rizomas monopodiais ou paquimórficos, das regiões tropicais, o crescimento é duas vezes maior no período noturno do que no diurno. Os novos bambus surgem a partir do período da primavera, e apresentam crescimento acelerado durante as estações mais quentes do ano. No entanto, bambus que possuem rizomas simopodial, de zonas mais frias, apresentam um desenvolvimento maior durante o período diurno do que no período noturno.

3.5.2 FLORAÇÃO

3.5.2.1 FLORES

O florescimento das flores do bambu é um acontecimento extraordinário entre as plantas florais. Não pela sua beleza exuberante, mas pelo acontecimento raro de se presenciar na natureza. Grande parte dos bambus tem um florescimento que ocorre uma vez a cada 3 a 120 anos, de acordo com a espécie. Esses longos períodos ainda são uma incógnita e surpreendem diversos pesquisadores ainda hoje. Na figura 3.11 abaixo, podemos ver a flor do bambu *Fargesia nitida*, em flor, uma vez a cada 120 anos. [2] [22]

O florescimento do bambu normalmente ocorre entre as 5 e 9 da manhã e as flores fecham ao meio-dia. Segundo pesquisadores, isso acontece devido ao fato que altas temperaturas afetariam a qualidade das flores, a liberação do pólen inicia uma hora após o florescimento, sendo que a temperatura, luminosidade, chuvas e umidade, afetam a capacidade germinativa do pólen.

Contudo, nem todas as espécies de bambu apresentam as mesmas propriedades ou padrões de floração. De acordo com a espécie, o bambu pode apresentar a floração anual, floração esporádica ou floração gregária, como no caso da planta da figura 3.11.



Fig. 3.11 - Flor do bambu [23]

3.5.2.2 FLORAÇÃO ANUAL

A floração anual ou continua acontece com a maior parte dos bambus herbáceos e, em casos raros, com os bambus lenhosos (*Schizostachyum blumei*). Determinadas espécies conseguem florescer anualmente sem nenhum prejuízo para a planta em si, contudo as sementes geradas dificilmente podem germinar. [2] [22].

A floração anual pode acontecer em plantas específicas de uma floresta durante intervalos de tempo diferentes, não ultrapassando um ou dois meses de diferença. Devido a isso podemos encontrar floração de bambu em uma floresta durante todo o período do ano, sem causar retardos germinativos e com mesmo ocorrência de mortes de alguns exemplares.

3.5.2.3 FLORAÇÃO ESPORÁDICA OU IRREGULAR

A maioria dos afloramentos das espécies do bambu ocorre esporadicamente ou irregularmente, anualmente a qualquer mês, isso acontece por diversas razões, pode ser motivada por um ataque de pragas, causas climáticas ou mesmo um incêndio na área. Nesta situação, um ou vários colmos de qualquer idade da mesma touceira florescem e morrem logo em seguida, mas a touceira inteira não morre. Algumas flores esporádicas em um ou vários colmos ocorrem a cada ano em praticamente todas as partes de bambu. [2] [22]

Se um novo colmo e seu rizoma brotar do rizoma de um caule florido, este novo caule geralmente produz flores no primeiro ano de seu crescimento e depois morre. Com a morte de um colmo após a floração, o rizoma do qual ele nasce também morre em grande parte dos casos.

3.5.2.4 FLORAÇÃO GREGÁRIA

Este tipo de floração acontece em longos intervalos que são chamados como ciclos de vida ou ciclo de vida fisiológico. Estes ciclos são mais ou menos constantes para cada tipo de bambu e alternam de 3 a 120 anos, dependendo da espécie. O ciclo mais longo conhecido em bambus é o de 120 anos em *Phyllostachys Bambusoides* e *Phyllostachys Nigra Henonis*, que são originários da China e da Japão. É claro que nenhum bambu de uma moita vive até aos 120 anos de idade. No máximo, um caule atinge uma média de 12 anos na touceira e depois se seca e morre. [2] [22]

O motivo disto é que a planta de bambu é uma planta perdurável, o que significa que as moitas continuam a produzir novas plantas a cada ano. O ciclo de vida começa no momento em que a semente de bambu germina, e termina no período que a touceira formada por esta semente floresce gregariamente muitos anos mais tarde no final de seu ciclo de vida.

Sendo assim os períodos entre os sucessivos florescimentos gregários que ocorrem com algumas espécies, e são mais ou menos constantes para uma determinada espécie e local, simbolizam o seu ciclo de vida ou ciclo de vida fisiológica.

No momento em que acontece o florescimento gregário de qualquer espécie, todos os bambus de uma moita ou moitas que foram originadas a partir da mesma planta, desenvolvem simultaneamente em todo o mundo, onde quer que esteja o exemplar. Podem ter crescido naturalmente ou ter sido cultivados, e todos eles “renascem” independentemente da localização geográfica, condições climáticas, diferenças de solo ou idade da moita.

O bambu parece que possui um cronograma fisiológico no seu interior que controla a extensão do período vegetativo. Parece que há um alarme em cada célula que toca uma vez quando termina seu período vegetativo ou ciclo de vida fisiológica. Nesta ocasião e antes de sua morte, sua energia vai para a produção de flores e sementes, e seu crescimento vegetativo para, pois o bambu doa toda a sua energia para a produção de seu sucessor.

Quando a florescimento acontece, cada folha do bambu é substituída por flores e a floração é finalizada entre 50 a 90 dias. O florescimento é tão profundo que todo o colmo, do topo para base, é transformado em uma inflorescência gigantesca, como pode ser visto na figura 3.12.



Fig. 3.12 – Floração gregária [24]

Habitualmente, as flores aparecem na posição superior e inferior no caule de bambu ao mesmo tempo ou podem aparecer apenas em um lado do caule enquanto o outro lado é deixado nu. A sequência da floração geralmente continua da parte superior para a inferior do bambu, mas em algumas espécies (*Dendrocalamus latiflorus*, por exemplo) a formação da inflorescência começa no nó mais baixo e prossegue em direção à ponta. Na maioria das espécies, a planta produz então grandes quantidades de sementes e morre.

Quando todos os bambus de uma touceira florescem gregariamente simultaneamente, essa touceira morre. Existem espécies que não morrem, isso acontece em bambus onde só uma parte das folhas são substituídas pelas flores. Os colmos onde ocorre a troca total das folhas acabam morrendo.

3.5.2.5 PROBLEMAS DO FLORESCIMENTO GREGÁRIO

O florescimento gregário do bambu para diversos povos, em partes da Índia, Tailândia e outros países do sudeste asiático, é visto como prenúncio de fome. Após a semeadura natural e espontânea deste tipo de plantas, milhões de ratos surgem, invadem os bambuzais e comem todas as sementes deixadas pelo bambu. Depois disso, eles partem para os campos de arroz e trigo e devastam todo o campo, deixando a população sem alimento. Parte da população consome os ratos capturados para se alimentar durante esse período, já que não há alimento para eles. [2] [22]

De outro ponto de vista, em outras áreas desses países, o florescimento do bambu é visto como uma graça divina, já que o bambu floresceu também em tempos de seca e fome, e suas sementes eram usadas pela população pobre, e serve como alimento para esta população por diversos meses, sendo consumido como um arroz.

3.5.2.5 PROBLEMAS DO FLORESCIMENTO GREGÁRIO

O florescimento gregário do bambu para diversos povos, em partes da Índia, Tailândia e outros países do sudeste asiático, é visto como prenúncio da fome. Por que após a semeadura, milhões de ratos surgem, invadem os bambuzais e comem todas as sementes deixadas pelo bambu. Depois disso, eles partem para os campos de arroz e trigo e devastam todo o campo, deixando a população sem alimento. Parte da população consome os ratos capturados para se alimentar durante esse período, já que não há alimento para eles. [2] [22]

De outro ponto de vista, em outras áreas desses países, o florescimento do bambu é visto como uma graça divina, já que o bambu floresceu também em tempos de seca e fome, e suas sementes eram usadas pela população pobre, e serviu como alimento para esta população por diversos meses, sendo consumido como um arroz.

3.5.2.6 COMO PREVER O FLORESCIMENTO GREGÁRIO?

Segundo alguns pesquisadores, podemos prever a floração gregária do bambu com até 1 ano de antecedência, se conseguimos identificar alguns pontos: [2]

- Habitualmente apenas os bambus jovem possuem água em seu interior. Foi observado durante o ano do florescimento que todos os colmos possuíam água no seu interior, independente do seu tempo de vida, além disso puderam notar que possuíam uma quantidade de água superior ao que tem um bambu jovem; Essa acumulação de água no interior se deve ao fato de as plantas estarem se preparando para gerar flores e frutos, pelo que os rizomas não conseguiriam atender a demanda necessária para o florescimento;
- Menor desenvolvimento da planta;
- Menor número de brotos de bambu;
- Desenvolvimento de brotos de bambus imaturos;
- A touceira não produz novos bambus no ano que antecede o florescimento gregário;
- A madeira do bambu perde resistência e fissura mais facilmente.

3.6 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

As propriedades anatômicas normalmente têm sido utilizadas na identificação de bambus. Principalmente as relacionadas as diferenças encontradas na estrutura dos feixes vasculares dos colmos têm proporcionado apontar diferenças entre gêneros e espécies. [2] [25] [28] [29]

A estrutura anatômica do colmo em corte transversal é determinada pela forma, dimensão, pelos números dos feixes vasculares. Além disso, a estrutura anatômica também é crucial para as propriedades físicas dos caules de bambu. Essas propriedades podem ser usadas para determinar as espécies a serem cultivadas em conformidade com a aplicação final pretendida.

Perante à ótica da anatomia, a diferença dos bambus para as madeiras é basicamente a falta de raios, devido a isso o bambu possui baixa resistência ao fendilhamento, o que complica na hora de criar ligações entre itens de bambu.

Do exterior para o interior, os colmos são separados nas seguintes partes, como pode ser visto na figura 3.13: epiderme, córtex, fibrovascular e cavidade interna. Contudo, alguns pesquisadores separam em apenas três partes: córtex, células parenquimáticas e feixes vasculares. [25] [28] [29]

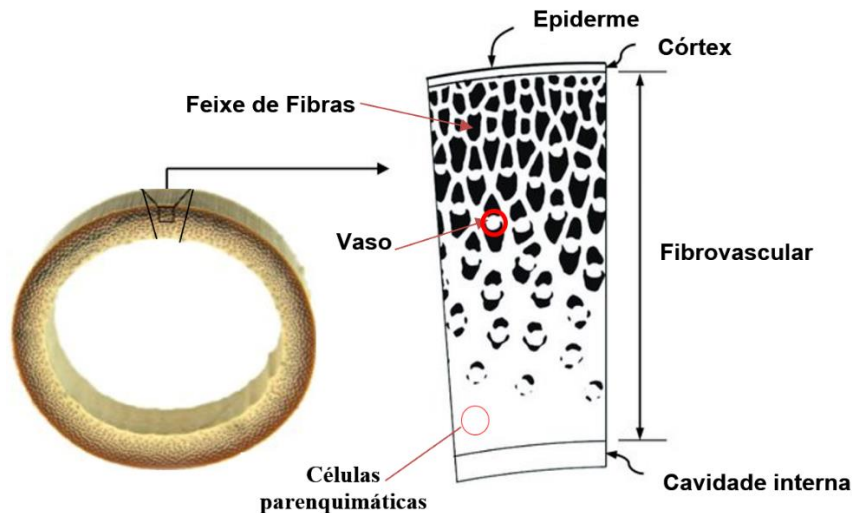


Fig. 3.13 - Corte transversal do colmo do bambu [26] [27]

- **Epiderme:** é a faixa do exterior do córtex, ela é composta por duas faixas de células epidérmicas, sendo ricas em sílica que tem a função de fortificar a epiderme. Essas células epidérmicas são cobertas por uma espécie de cera que é feita por celulose e pectina.
- **Córtex:** é composto de tecidos básicos e está localizado imediatamente após a epiderme. A hipoderme é a primeira camada do córtex, que normalmente é constituída por células parenquimatosas. E varia entre 1 e 3 faixas, que juntamente com a epiderme evita qualquer movimento de líquidos para o interior da planta (impermeabilização exterior).
- **Fibrovascular:** é a zona encontrada entre a cavidade interna e o córtex. É constituída por células parenquimáticas parecendo um tecido retalhado e com feixes vasculares feito por um tecido condutor e fibras. Segundo pesquisadores, o colmo do bambu é constituído por 8% de tecido condutor, 40% de fibras e 52% de células parenquimáticas.
- **Cavidade interna:** é a face interna do colmo, ela se encontra na zona entre os nós, é constituída por células parenquimatosas que geralmente são espessas e com alto teor de lignina, que por vezes criam uma película que torna a cavidade impermeável e estanque. Esta película normalmente está ligada à parede interna mesmo em colmos novos.
Uma curiosidade é que no Japão essa película é chamada de “papel do bambu”, por ser liso, fino e seco tendo uma aparência de papel. De acordo com as espécies essa película pode possuir diversos elementos em sua superfície com formatos diferentes, umas tem formato de flocos, outras algodão, podendo ser grandes e sendo fixados em linhas ou cruzadas.
- **Feixes de fibras:** representam cerca de 70% das células nas faixas periféricas externas (próximo a zona da epiderme), e vão diminuindo gradualmente no sentido das faixas do interior (onde representam 20%). São responsáveis por garantir uma maior resistência mecânica e protegem os vasos. Apesar de existirem centenas de espécies de bambus, em termos de aspectos

anatômicos, essas espécies são divididas em apenas cinco grupos, isso por diversas vezes torna difícil a identificação do bambu apenas analisando um pedaço do colmo.

- **Células parenquimáticas:** tem a função de armazenar o amido, demonstram acúmulo de 70% na faixa interna (zona próxima a cavidade), e vai diminuindo gradualmente no sentido das faixas externas (zona da epiderme). Essa faixa da epiderme é a zona de maior resistência ao ataque das pragas, em razão da alta quantidade de fibras e baixa quantidade de células parenquimáticas. Eles são encarregados da capacidade do bambu de se adaptar às demandas do exterior, como a pressão do vento.
- **Vasos:** são responsáveis por transportar água das raízes do rizoma subterrâneo até as folhas superiores e os nutrientes por toda planta. Em contraste com a madeira (desenvolvimento do cerne, com posterior entupimento dos vasos por óleos-resinas), os vasos de bambu continuam funcionando por toda a vida da planta. São maiores quando estão nas camadas internas da parede do caule, o que favorece a deposição de elementos químicos nas soluções de preservação. Em relação à ocupação da superfície, porém, a proporção dos vasos de bambu fica em torno de 10%, ou seja, o número de vasos aumenta consideravelmente nas camadas externas, mas seu diâmetro é muito pequeno. Ao observar um corte transversal de bambu, pode-se verificar que os vasos aparecem em grupos de quatro elementos e tendem a se entupir com o envelhecimento do caule.

3.7 PROPRIEDADES FÍSICAS

O bambu possui como principais propriedades físicas o teor de umidade, a densidade e a estabilidade dimensional (encolhimento e dilatação). De acordo com a utilização pretendida, a isolamento térmica e o comportamento acústico do bambu natural ou beneficiado também poderão ser analisados. O primeiro é importante porque habilita o bambu para ser usado em diversas áreas de aplicação, tais como, zonas molhadas, (deck de piscinas) ou até mesmos para itens de cozinhas (talheres, cabos de panela); O segundo é importante para a utilização do bambu em usos diversos na construção tais como revestimento em geral e também na fabricação de instrumentos musicais como violão, cavaquinhos e flautas. Já as propriedades termoacústicas vêm sendo avaliadas para o uso em isolamentos e até mesmo para revestimento de caixas amplificadoras. [2] [28] [29] [32] [34]

No Brasil um dos principais obstáculos que impede um melhor conhecimento das propriedades do bambu é a falta de normas técnicas para a realização dos ensaios de caracterização e posterior interpretação das informações encontradas. Portanto, a falta de padronização torna muito difícil comparar os resultados obtidos para as diferentes espécies estudadas pelos pesquisadores. Atualmente, a Rede Brasileira de Bambu está elaborando uma norma brasileira para o uso estrutural do bambu em construções.

3.7.1 UMIDADE

A umidade do bambu na época do corte pode ser muito alta dependendo da estação, das espécies e posição do corpo de prova no caule (base, centro ou topo). Por causa da maior espessura da parede devido à maior concentração de vasos de maior diâmetro nessa região e à maior quantidade de células parenquimatosas altamente higroscópicas, a região da base tem um teor de umidade mais alto do que as outras partes e o teor em água vai diminuindo conforme se sobe. [2] [28] [29] [32] [34]

Em geral, o bambu seca mais lentamente do que a madeira de mesma densidade porque a perda de umidade na direção das fibras é muito baixa devido à impermeabilidade natural da casca do bambu.

A idade do caule também possui um papel importante nessa característica, pois quanto mais novo for o caule, maior será o seu teor médio de umidade. Conforme o caule envelhece (amadurece), o conteúdo de umidade do caule diminui à medida que o lúmen das fibras se estreita e os vasos se tornam escleróticos, dificultando a absorção ou perda de água.

3.7.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A designação de densidade também é adotada e se refere à relação entre a massa de um dado material e o volume que ele ocupa. Esta propriedade depende fortemente do teor de umidade do material; portanto, é comum usar a densidade verde ou no estado saturado (em bambu recém-cortado) ou a densidade seca em equilíbrio com o meio ambiente - em torno de 12% como recomendado pela norma para madeira.

Uma variante dessa propriedade seria a densidade aparente, ou seja, ela é avaliada globalmente levando em consideração o formato cilíndrico do caule do bambu. Nessa situação os dados da Massa específica aparente encontrados são menores e também dependem da espessura da parede do caule. Isso significa que, com o mesmo teor de umidade e o mesmo diâmetro externo, o eixo da parede mais espessa tende a ser mais pesado. [2] [28] [29] [32] [34]

Com dois bambus com o mesmo diâmetro externo e comprimento, um guadua (*Guadua angustifolia*) tende a ser mais pesado que um mossô (*Phyllostachys pubescens*). Um bambu sólido (*Thyrsostachys siamensis*) também é mais denso do que um bambu oco (*Dendrocalamus asper*), como pode ser visto na figura 3.14 abaixo. [2] [28] [29] [32] [34]

Como já mencionado, além da influência da umidade, a massa específica aparente do bambu também depende da posição na haste da qual a amostra foi retirada, ou seja, se ela vem da base, do centro ou do topo, sendo que a densidade aumenta de baixo para cima. [2] [28] [29] [32] [34]

Além do mais, a massa específica aparente do bambu varia com relação à posição radial da amostragem, isto é, do centro à casca, e varia de 0,4 g / cm³ (camada interna) a 1,1 g / cm³ (camada externa), sendo que a massa específica aparente do bambu está entre 500 e 800 kg / m³. Esse valor, semelhante ao da madeira de densidade média, qualifica o bambu para a produção de carvão vegetal.



Fig. 3.14 - Bambu sólido (*Thyrsostachys siamensis*) e bambu oco (*Dendrocalamus asper*) [30]

3.7.3 ESTABILIDADE DIMENSIONAL

Quando o caule é cortado, seu teor de umidade é muito alto dependendo da idade do caule e da localização geográfica (temperatura e umidade relativa). A perda de umidade é relativamente lenta, pois a casca protege o caule, então a secagem é praticamente gota a gota - como se fosse uma chaminé. Em geral, o bambu demora muito mais para secar do que uma árvore cortada do mesmo diâmetro e densidade. [2] [28] [29] [32] [34]

No decorrer da fase inicial da secagem (é capaz de durar meses), o bambu só perde água livre que saturou seus elementos anatômicos. Contudo, quando o teor de umidade atinge cerca de 20-25%, a secagem contínua leva a uma diminuição simultânea da massa e das dimensões do bambu, esse processo é chamado de encolhimento. Dessa maneira, a expressão do bambu seco é altamente dependente da região geográfica - um caule pode ser considerado seco com 20% ou 12% de umidade, caso por exemplo se encontre em Belém ou São Paulo.

A variação do teor de umidade permanece durante todos os meses do ano, por causa disso, o corpo do bambu deve ser protegido por uma boa estrutura e / ou devido a utilização de produtos impermeáveis, principalmente nas pontas do caule do bambu, porque é o lugar onde ocorre o corte da planta, e uma vez que o casca o protege da umidade. Deve-se atentar apenas para o aparecimento de possíveis trincas que abram caminho para a penetração posterior de insetos ou de fungos. Pela mesma razão, deve evitar-se deixar a parte superior do bambu desprotegida, sem o nó no lugar.

Assim como é usada para estudar a madeira, a parede do caule do bambu pode ser vista como se fosse um sólido. Desta forma, o comportamento segundo as três direções anatômicas deve ser analisado de forma separada: direção longitudinal que é no sentido da altura do bambu; Direção tangencial que é paralela à casca e direção radial do centro à pele, como pode ser visto na figura 3.15. É preciso notar que o nome do último corte pode ser enganoso, pois o bambu, tecnicamente, não possui raios como a madeira.

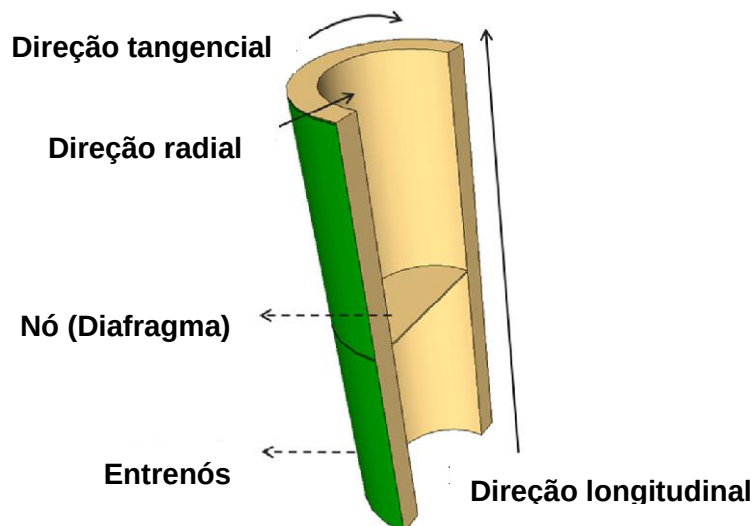


Fig. 3.15 – Direções anatômicas do bambu [31]

3.8 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Apesar da reduzida densidade aparente, o bambu é considerado um material com boa resistência mecânica, semelhante às madeiras nobres (duras). A principal dificuldade em estudar as propriedades mecânicas do bambu é que ele deve ser adaptado aos procedimentos padrão de teste de madeira. Além disso, o número e a localização dos nós irá alterar significativamente os resultados obtidos, por exemplo, em um teste de flexão estático. [2] [28] [29] [32] [34]

Como pode ser visto pelas propriedades anatômicas, a distribuição dos componentes no caule do bambu é muito diferente. A maior concentração de feixes de fibras nas faixas externas e a importância crucial dos diafragmas (nós) influenciam significativamente o comportamento do caule do bambu sob determinadas cargas. Por outro lado, ao usar bambu processado, estas diferenças podem ser minimizadas durante a fase de produção do material.

As características mecânicas do bambu possuem valores muito diferentes na literatura consultada, visto que o método de realização dos ensaios ainda não está normalizado, ainda que se encontrem recomendações na ISO (International Standardization Organization) e, resumidamente, na norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) são propostos em sua primeira fase, concluída em março de 2019.

3.8.1 CISALHAMENTO

Neste tipo de solicitação, tenta-se passar de uma superfície sobre a outra, um movimento parecido como o de uma tesoura. Novamente, dependendo da direção da carga que pode ser paralela ou perpendicular às fibras, como pode ser visto na figura 3.16, o bambu é muito sensível à ação desse tipo de esforço e menos resistente se a força for aplicada no sentido paralelo às fibras do que no sentido perpendicular às fibras. [32]

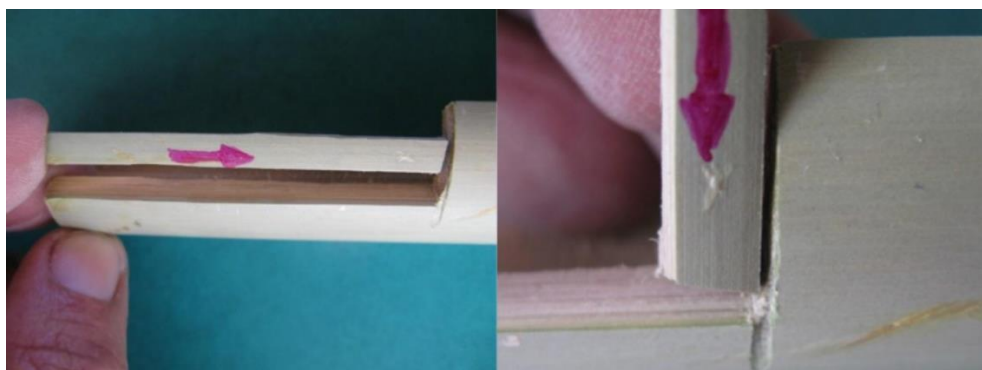


Fig. 3.16 – Cisalhamento paralelo às fibras. Cisalhamento perpendicular às fibras [32]

Este desempenho do bambu precisa ser analisado quando entalhes ou juntas são usados em estruturas. A abertura de fissuras não só garante o aparecimento de linhas com menor resistência mecânica, mas também expõe o bambu ao ataque de pragas.

3.8.2 COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS

O bambu não é capaz de aguentar esforços de compressão perpendicular às fibras, com ressalva à região do nó que é a parte maciça do colmo. O bambu é um "cilindro", normalmente com uma parede fina. A

opção geralmente usada em estruturas de bambu, é preencher a cavidade com betão ou argamassa de cimento e areia. Em casos excepcionais, bambus de paredes espessas como *G. angustifolia* podem suportar cargas que são exercidas nesta direção. Na figura 3.17 podemos ver um teste. [32] [34]



Fig. 3.17 – Teste de compressão perpendicular às fibras do bambu [32]

3.8.3 COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Pedaços curtos de bambu podem suportar esforços maiores que 50 MPa, enquanto o betão comum tem 30% desse valor. Enquanto o betão possui densidade maior que 2, o bambu possui 30% desse valor. Portanto, quando a resistência é levada em consideração em relação à massa específica aparente (resistência específica), o bambu acaba sendo muito mais forte do que o betão. [2] [28] [29] [32] [34]

Na figura 3.18 podemos observar o teste realizado por pesquisadores em laboratório com uma amostra de *Guadua angustifolia*. É um eixo curto com três nós, o que enrijece consideravelmente o eixo e causa uma tensão de ruptura muito elevada - a carga de ruptura alcançada foi superior a 40 MPa.



Fig. 3.18 – Teste de compressão paralelo às fibras do bambu [32]

Certos pontos precisam ser levados em consideração durante o teste: Ao calcular a tensão na ruptura (carga / área “teórica”, medida pelo exterior da peça), não apenas o diâmetro externo do eixo deve ser levado em consideração, mas também a espessura da parede do bambu, ou seja, a área de resistência do elemento. O bambu com o mesmo diâmetro externo pode ter diferentes espessuras e, portanto, diferentes áreas de resistência. Assumindo que a altura do caule deva ser o dobro do seu diâmetro, certos caules, principalmente de outros tipos de bambu, podem não ter o mesmo número de nós (diafragmas), fazendo com que percam firmeza e se rompam com menores cargas.

A orientação mais importante é que não seja possível exceder os valores encontrados no ensaio aplicados em caules de baixa altura, principalmente com três nós, para pilares de dimensões habitualmente usadas

em construções. Em seguida, outro fator que precisa ser visto - a possibilidade de fletir (flambagem), como ocorre quando uma carga é aplicada pelas duas pontas de um canudo plástico. Em estruturas de bambu, isso pode acontecer se a altura do pilar for muito alta ou se forem usados bambu com um diâmetro menor, como *B. tuldoidea* ou *P. aurea*. Nesse caso, uma alternativa seria a utilização do bambu em perfis compostos reforçados com conectores plásticos.

3.8.4 DUREZA

Esta característica aponta a capacidade de um elemento riscar outros materiais sem ser arranhado por eles. As faixas externas do caule do bambu, por concentrarem o maior teor de fibra e a presença de sílica, assim como a área nodal, possuem a maior dureza. Porém, mesmo no bambu de maior diâmetro, torna-se muito difícil obter partes planas que contenham a casca, por isso a superfície é sempre ondulada. [2] [32] [34]

3.8.5 FENDILHAMENTO

Assim como a madeira, o bambu tem pouca resistência a esse tipo de esforço, dessa maneira, esse tipo de solicitação deve ser evitado em uma estrutura. As rachaduras podem ocorrer indiretamente se, por exemplo, pregos forem usados em conexões de caules que possuem pequena espessura de parede. Desse modo, é recomendável que os colmos sejam pré-perfurados para reduzir as altas tensões que este tipo de conexão cria. No entanto, essa baixa resistência ao fissuramento beneficia a extração de palitos e buchas, principalmente na região dos entrenós. [2] [32] [34]

3.8.6 FLEXÃO ESTÁTICA

O bambu é suficientemente rígido para ser usado em estruturas secundárias, como elemento treliçado e vigas. Importantes projetos estruturais foram desenvolvidos com *Guadua angustifolia* na Colômbia, Equador, Costa Rica e Brasil. Contudo, conseguir uma conexão eficiente entre os elementos é fundamental para a eficiência da estrutura usando metal, plástico, peças de madeira ou preenchendo os bambus com betão ou argamassa. [2] [28] [29] [32] [34]

Do ponto de vista técnico, o bambu pode ser comparado de forma mais adequada ao betão armado - na área de tração (casca) há maior concentração de feixes de fibras; no betão armado, as barras de aço de maior diâmetro são colocadas na parte inferior de uma viga.



Fig. 3.19 – Flexão de tira do bambu. Com a casca para cima e com a casca para baixo [32]

O desempenho das tiras de bambu expostas à flexão estática varia em duas situações: posição da casca para cima ou para baixo, como pode ser visto anteriormente na figura 3.19. No primeiro caso, nota-se que a casca do bambu resiste a um maior esforço compressivo, o que leva ao rompimento das camadas

internas por tração em forma de zigue-zague à medida que as fibras se destacam. No entanto, quando a área interna do caule é comprimida e a casca é submetida a esforços de tração, o bambu deforma-se severamente sem que a casca se rasgue abruptamente e as camadas internas são comprimidas.

Na realidade da construção, as tiras de bambu raramente são usadas em áreas curvas, com caules de bambu sendo mais frequentemente usados para superar vãos. Mesmo nesta situação, há um limite para o vão a ser superado, já que a deflexão é muito acentuada dependendo do tipo de bambu e afeta esteticamente a peça. Dependendo do grau de tensão, o bambu pode sofrer compressão diametral nas camadas superiores, que falha por esmagamento ou por rachadura na área inferior do caule.

Os caules com entrenós mais curtos são mais rígidos e têm tendência a se comportar melhor para esse tipo de exigência. Caso a carga não atinja diretamente a área nodal (diafragma), deve-se utilizar reforço, com aplicação de betão ou argamassa.

Uma alternativa ao bambu seria usar o princípio de vigas compostas, que são enrijecidas com pequenos pedaços de bambu. Essa estratégia possibilitou suportar cargas maiores e superar vãos mais importantes.

3.8.7 TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

O bambu recebe o título de aço vegetal, um pouco exagerado. Contudo, seu módulo de elasticidade é cerca de 10% do aço convencional usado em construções, cerca de 20 GPa. Somente se a relação entre a resistência à tração e a densidade dos materiais (resistência específica) for mantida, o bambu é mais vantajoso que o metal neste caso. [32] [34]

Uma maneira de adquirir a resistência máxima do bambu seria criar lâminas das camadas externas que são trançadas para formar um cabo. Deve-se observar que os cabos de bambu trançado oferecem resistência semelhante ao aço macio CA-25 (2500 kgf / cm² – classificação brasileira) e pesam apenas 10% desse material (aço). Essa estratégia foi usada anteriormente na construção de pontes na China e sustentava a laje com um conjunto de cabos de bambu trançados que mais tarde serviram de inspiração para projetistas de pontes suspensas modernas como a Golden Gate em São Francisco, EUA.

Tal como acontece com a madeira, o teste de tração paralelo às fibras de bambu não é trivial. A amostra deve ser processada adequadamente para que a quebra ocorra na área central da amostra.

Na realidade, dificilmente o caule de bambu será exposto à tração paralelamente às fibras. O que ocorre é uma solicitação indireta quando o bambu é submetido a esforços de flexão estática. Nesta situação, as camadas inferiores do caule são então sujeitadas à tração, enquanto as camadas superiores são solicitadas por cargas de compressão.

3.9 PROPRIEDADES QUÍMICAS

O bambu possui como principal característica química o amido presente em suas células parenquimáticas. Por serem mais numerosos nas camadas internas do caule, o ataque das pragas sempre começa nesta área. Os nós e camadas externas apresentam maior quantidade de sílica. [2] [28] [29] [32]

A composição química do bambu é composta principalmente por celulose (50-55%), hemicelulose (20-25%) e lignina (20-25%). As fibras são feitas de celulose, que é utilizada nas indústrias de celulose e

papel; vários produtos, comumente conhecidos como extratos (incluindo açúcar), são feitos de hemicelulose. A lignina atua como um aglutinante natural para os outros componentes.

O cultivo do bambu para produção artesanal de papel é realizado há muito tempo no continente asiático. Só a partir da década de 1960 testes para essa finalidade começaram no Brasil. Hoje em dia, encontram-se grandes produtores de bambu para celulose no Nordeste do Brasil, sendo principalmente utilizados na produção de sacos de cimento ou como fonte de energia para caldeiras com os cavacos (lascas) produzidos a partir do bambu.

4

BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO: MATERIAIS NATURAIS E MELHORADOS POR TRATAMENTO

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo discutir brevemente sobre as principais espécies de bambu utilizadas na construção civil, sua produção e melhoramentos para sua melhor utilização. Os bambus são encontrados em todos os países da América Central e do Sul, estão presentes em florestas e matas com climas temperados e tropicais, zonas que apresentam chuvas intensas, o que ajuda no seu crescimento.

Na América do Sul, existem cerca de 320 espécies distribuídas em 22 gêneros, o que representa 40% das espécies de bambu lenhosas do mundo. O país que possui a maior diversidade de espécies de bambu no mundo é o Brasil, possuindo 80% dos gêneros. Porém, dada a quantidade de espécies presentes no país e sua versatilidade, seu aproveitamento ainda é baixo. Em países vizinhos, como a Colômbia e o Equador, o bambu é usado em vários setores, desde a construção civil, desenvolvimento rural e até alimentação.

Ainda que a utilização do bambu no Brasil esteja em uma lei que incentiva a produção e manuseio sustentável, verifica-se, no entanto, que o setor ainda necessita de mais investimento em pesquisas e tecnologias para desenvolver a produção de bambus para sua comercialização. É necessária também a prestação de assistência técnica durante o ciclo produtivo, além de buscar fortalecer essa cultura para incentivar os produtores a investirem mais.

Bambus nativos do Brasil são materiais naturais e de rápida renovação que podem ser usados de diversas maneiras, tanto nas zonas rurais quanto nas cidades. O uso tradicional do bambu foi adotado pela população rural e está amplamente difundido na América do Sul.

Levando em consideração o clima tropical do Brasil, os bambus que não passarem por algum tipo de melhoramento, terão sua vida útil comprometida, principalmente pelas ações de organismos xilófagos. Assim como outros materiais naturais (madeira) que são utilizados sem tratamentos, um dos maiores problemas são os ataques dessas pragas. Devido a isso, o uso de métodos de tratamento é indispensável para a utilização economicamente sustentável de peças de bambu na construção. Os tipos das proteções, curas, melhoramentos e como eles são realizados variam muito, veremos os principais métodos utilizados neste capítulo.

4.2. ESPÉCIES UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.2.1. *DENDROCALAMUS ASPER* (BAMBU BALDE)

O bambu *Dendrocalamus asper* é originário do sudeste asiático, ele está difundido por quase todas as regiões do Brasil, exceto a região norte. Pode ser serrado devido ao seu tamanho, seus pedaços cortados são utilizados como baldes, vasos, panelas ou colmeias, daí o nome bambu balde, como é chamado popularmente no Brasil. [2] [33] [34] [35]

É um bambu paquimórfico (não alastrante), ver capítulo 3, que possui grandes touceiras e caules. Os novos bambus que podem ter tons castanhos e verdes, são brilhantes, tem folhas de colmo que muitas vezes apresentam uma espécie de pelugem no exterior, como pode ser visto na figura 4.1.



Fig. 4.1 – Bambu balde jovem. Bambu balde maduro [33]

Os caules amadurecidos podem apresentar diversas cores, desde o castanho claro ao verde, tendo em muitos casos manchas acinzentadas ou brancas, como se pode observar na figura 4.1. Em zonas com elevada umidade é comum encontrar plantas com a presença de musgos.

Em touceiras bem cuidadas, os bambus podem atingir facilmente mais de 25 de altura, com quase 30 cm de diâmetro nos colmos, próximo da base, e com espessura de parede de 3cm. Tem florescimento gregário que ocorre entre 50 e 100 anos.

O bambu balde cresce melhor em zonas com incidência solar constante e solos profundos. No entanto ele suporta temperaturas negativas até -5 ° C, porém sofre muito com as geadas, principalmente quando o bambu é novo e ainda está se desenvolvendo. Ainda assim, estudos indicam que o bambu balde possui elevada capacidade regenerativa depois de invernos intensos e “difíceis” do ponto de vista climático.

A espécie possui alta resistência mecânica e é resistente à infestação de insetos, por isso é muito difundida, em diversas áreas de atividade econômica: na construção civil; na fabricação de móveis; em estruturas de todos os tamanhos e na fabricação de materiais laminados colados.

4.2.2. *GUADUA ANGUSTIFOLIA* (TABOCA)

O bambu *Guadua angustifolia* é originário da Brasil, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela. No entanto foi difundido em outros países da América do Sul. No Brasil, ele é nativo apenas da região norte, tendo sido introduzido posteriormente nas outras regiões. Ele é avaliado como o terceiro maior e mais forte bambu do mundo. [2] [33] [34] [35]

É uma espécie de bambu gigante com rizomas de comportamento semi-alastrante e espinhos nos ramos. Os caules são largos, têm ótimas propriedades mecânicas e têm naturalmente excelente durabilidade. Sua altura varia entre 15 e 35 m, o diâmetro da base do caule pode ser de até 25 cm e a espessura da parede de até 2,5 cm.

Uma característica que ajuda bastante na identificação de espécies do tipo *Guadua* são faixas brancas no entorno da zona nodal, conforme é mostrado na figura 4.2. O *Guadua angustifolia* vai perdendo a cor branca nos nós com o seu envelhecimento. Os novos bambus possuem um tom forte de verde, devido à alta concentração de bastante clorofila. Habitualmente levam de 6 a 8 anos para a planta desenvolver colmos medianos, porém, em condições excepcionais, é possível produzir colmos com 12 cm de diâmetro depois do 4º ano de plantio.



Fig. 4.2 – Bambu *Guadua angustifolia* [33]

O *Guadua angustifolia* se desenvolve melhor em zonas tropicais, com alto nível de umidade no ar, temperaturas médias de 20 a 26° C e altitudes de 800 à 1500 metros acima do nível do mar.

A espécie é amplamente usada em construção na América Central e na América do Sul, principalmente na Colômbia, Equador e Venezuela. O bambu *Guadua*, apresenta diversas alternativas de utilização tais como andaimes, casas, pontes, tubulação de irrigação, cisternas, barcos, carvão, entre outros.

4.2.3. *PHYLLOSTACHYS EDULIS* (BAMBU MOSSÔ)

Conhecido popularmente como bambu mossô ou bambu gigante chinês, é nativo da China e é muito plantado no Japão. Devido às suas propriedades únicas, é um dos bambus mais cultivados no mundo. O bambu mossô chegou ao Brasil, levado pelos imigrantes japoneses que chegaram no começo do século 20, e está sendo cultivado em pelo menos três regiões no Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. [33]

O bambu gigante chinês é uma espécie grande com um diâmetro de até 20 cm e uma altura máxima de 25 m. A planta apresenta rizoma leptomórfico (alastrante) pelo que, devido a isso, seu crescimento

precisa ser monitorado e controlado. Por ser um bambu subtropical e temperado, pode aguentar baixas temperaturas de até -20 ° C. Floresce esporadicamente uma vez a cada 65 anos. [33] [34] [35]

Os caules apresentam uma coloração verde ou branco-acinzentada quando jovens, como pode ser observado na figura 4.3. A tonalidade mais clara dos caules jovens contrapõe com a tonalidade mais escura dos mais velhos e confere ao bambuzal um efeito visual interessante.

Por ser um bambu alastrante, a espécie é uma ótima alternativa para a criação de matas abertas (figura 4.3), principalmente em áreas degradadas, produzindo assim uma mata muito uniforme.



Fig. 4.3 – Bambu mossô [33]

Constitui atualmente a espécie de bambu com maior área plantada, maior uso na indústria, com a cadeia de produção mais desenvolvida e atualmente de maior importância econômica mundial. Para os chineses, o mossô é o “Rei dos bambus”.

No Brasil, o bambu gigante chinês é usado para a construção de moradias e prédios. É o tipo mais utilizado na indústria em todo o mundo, para a fabricação de bambu laminado colado. É usado também para fazer móveis, brinquedos e produtos de uso diário. É frequentemente usado como planta ornamental, tanto como bambu retorcido em vasos ornamentais quanto em jardins.

4.2.4. *DENDROCALAMUS GIGANTEUS* (BAMBU GIGANTE)

O *Dendrocalamus giganteus*, chamado popularmente como bambu gigante ou bambu dragão, é uma espécie tropical e subtropical originária do sudeste asiático, encontrado principalmente em Mianmar, Butão, China e Tailândia. No Brasil é cultivado nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. [2] [33] [34] [35]

É um bambu paquimórfico (não alastrante) que forma grandes touceiras, como pode ser visto na figura 4.4. O bambu gigante é a espécie de bambu mais alta do mundo, com caules gigantes entre 25 e 40 m de altura e 15 a 35 cm de diâmetro. Os caules têm paredes grossas de até 3 cm, possuindo coloração verde-opaco até verde azulado escuro, e têm uma camada de cera branca em sua superfície quando são jovens, conforme é mostrado na figura 4.4. Os entrenós têm geralmente 35-50 cm de comprimento.

O ciclo de floração e a formação de sementes do bambu gigante acontece a cada 40 anos, sendo um florescimento esporádico. O bambu dragão nasce naturalmente nas zonas altas com clima tropicais e úmidas, habitualmente até 1.300 m. Pode ser plantado em zonas baixas, desde que o local tenha alta umidade e pode também ser cultivado com sucesso nas terras baixas em solo argiloso ou aluvial com alta umidade.

O Bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) é um dos doze bambus de alto desempenho que é correntemente cultivado em grandes plantações específicas, visto que a matéria-prima que deriva desta planta é muito adequado para construção, fabricação de papel e novos brotos para produtos vegetais.

Os caules também são usados para andaimes, barcos, casas de campo, tubulações de água, vasos, baldes, jarros esteiras, tábuas, móveis. As folhas do colmo são usadas para fabricação de artesanatos.



Fig. 4.4 – Bambu gigante [33]

4.2.5 *PHYLLOSTACHYS AUREA* (BAMBU DOURADO)

O bambu dourado é conhecido por diversos nomes no Brasil, os mais populares são, bambu Cana-da-Índia, vara-de-pesca, caniço e bambu mirim. É um bambu nativo da China e tem rizomas com características leptomórficas (alastrante). Possui florescimento gregário que acontece a cada 15-30 anos. [33] [34] [35]

Possui caules de tamanho médio até 9 m de altura e até 7 cm de diâmetro na base. A cor das folhas varia do verde claro quando jovens ao verde escuro quando velhas. Os caules ficam dourados quando são atingidos pela luz solar direta e são bastante usados na produção de bengalas, muletas (figura 4.5) e varas de pesca devido ao facto de terem entrenós curtos, o que confere a este tipo de bambu uma relativamente alta resistência mecânica.



Fig. 4.5 – Bambu dourado; Bengala e Muleta feitos com Bambu Dourado [20]

Apesar de se desenvolver melhor quando exposto ao sol, o bambu dourado consegue se desenvolver e suportar baixas temperaturas de até -20°C . No Brasil é usado de diversos modos, desde o artesanato em geral até ser usado em guias para plantação de tomates. É também amplamente usado como matéria-

prima para construções rurais, andaimes, confecção de varas de pesca, móveis, luminárias. É muitas vezes também utilizado como planta ornamental e em cercas vivas e quebra ventos.

Uma vez que este bambu tem maior resistência natural à infestação de pragas e boa resistência mecânica, e é fácil de dobrar, é frequentemente usado para construir estruturas de cobertura para telhados de todos os tipos de construção, tais como casas rurais e estufas.

Por causa de seu enorme potencial de propagação, a planta é amplamente utilizada para conter taludes em encostas e no combate à erosão do solo. É também usado para ajudar a restaurar áreas degradadas e criar barreiras mecânicas nas fronteiras terrestres. Devido a esse comportamento, o bambu dourado precisa de certos cuidados ao ser cultivado, para que a sua propagação não se torne um problema (necessário controlar o crescimento para que as zonas cultivadas não fiquem “infestadas”).

4.2.6. *BAMBUSA VULGARIS* (BAMBU GIGANTE VERDE)

No Brasil o bambu gigante verde é conhecido como Bambu-açu, taquaruçu, sendo encontrado por todas as regiões do país. É nativo do Sudeste asiático, principalmente do sul da China. Foi espalhado pelo mundo por navegadores portugueses e espanhóis. Possui um florescimento ainda indefinido pelos pesquisadores. [33] [34] [35]

As moitas do bambu-açu são grandes (figura 4.6) e os seus caules podem crescer até 25 m de altura e ter um diâmetro de até 13 cm na base. Os caules novos são de coloração verde e os maduros são de cor verde escuro. A planta cresce melhor em zonas com grande incidência solar como as regiões tropicais e pode suportar temperaturas de até -3 ° C.

Os caules são tortos (figura 4.6) e estão sujeitos à infestação de pragas devido ao alto teor de amido. Como resultado, a espécie raramente é usada em móveis e edifícios porque é limitada a estruturas mais simples e com uma vida útil curta. As principais aplicações desse tipo são a produção de energia, celulose e papel, álcool, carvão, andaimes, barcos e artesanatos.

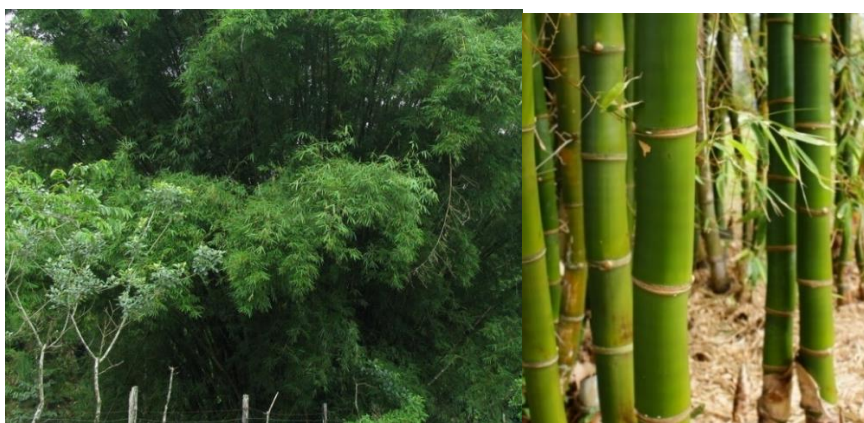


Fig. 4.6 – Moita do bambu-açu; Caule do bambu-açu [33]

4.2.7. *BAMBUSA VULGARIS VITTATA* (BAMBU BRASILEIRO)

Conhecido como Bambu verde-amarelo ou bambu imperial, é nativo da China e Japão. Tal como o bambu-açu, é uma espécie que se desenvolve bem em climas tropicais e subtropicais. Ainda que tenha esse nome, não é uma espécie nativa do Brasil e seu nome se deve às cores amarela e verde dos caules (figura 4.7). [33] [34] [35]



Fig. 4.7 – Bambu brasileiro [33]

Apresenta propriedades gerais e comportamento muito parecido com o bambu-açu. As moitas são grandes, devido aos seus rizomas do tipo paquimórfico (não alastrante). Os caules podem ter até 20 m de altura e 10 cm de diâmetro na base. O último florescimento descrito na literatura ocorreu em 1873, não tendo mais informações sobre o tipo de floração.

No Brasil é encontrado em todas as regiões do país, sendo facilmente identificado devido a sua marcante cor amarela com listras verticais verdes escuras, como se pode observar na figura 4.7. Pode ser utilizado em construções rústicas e na produção de carvão de excelente qualidade, mas a sua produção ocorre prioritariamente devido ao seu valor ornamental e é muito utilizada no paisagismo, sendo também procurada para a confecção de bonsai.

4.2.8. *BAMBUSA TULDOIDES* (BAMBU CAIPIRA)

Também é conhecido popularmente como taquara ou bambu crioulo. É uma espécie nativa da China que chegou ao Brasil durante sua colonização pelos portugueses. Atualmente é uma espécie amplamente distribuída Brasil, estando presente em todas as regiões. [33] [34] [35]

A espécie possui caules que podem atingir até 20 m de altura na base e 7 cm de diâmetro. Os caules e folhas são de cor verde escuro, quando velhos. A distância entre os nós do caule é grande e pode chegar até 50 cm. Possui razoável resistência contra ataques de pragas, paredes espessas e baixo teor de amido. As moitas são médias e as rizomas são do tipo paquimórfico (não alastrante).



Fig. 4.8 – Bambu caipira [33]

Os caules jovens têm uma cor verde escura e ligeiramente azulada, como se pode ver na figura 4.8. Os caules maduros são mais claros e podem apresentar tons amarelados. A espécie é adequada para cultivo em regiões expostas ao sol, porém tolera temperaturas mínimas de até -9 ° C.

O bambu caipira é muito utilizado no Brasil, não apenas por ser encontrado facilmente por todo país, mas porque os caules possuem alta resistência mecânica. Tem diversas empregabilidades dentro do mercado. Na construção civil é muito usado em áreas rurais para fabricação de telhados, casas, currais, cercas. É utilizado frequentemente em plantações agrícolas como suporte para plantas rameiras.

4.2. PRODUÇÃO DO BAMBU

O Brasil possui um clima propício ao cultivo de bambu, que tem pouco impacto ambiental e pode ajudar a restaurar locais degradados, restaurar solos, conter erosão, aumentar a umidade relativa do ar, auxiliar na preservação da vegetação nativa e contribuir para a diminuição do problema da falta de água que atualmente assola o Brasil.

O desenvolvimento de uma plantação de bambu leva em média 4 a 8 anos, estando sujeito as características do local, quando a moita atinge os padrões próprios da espécie como diâmetro, espessura de parede e altura do caule.

No entanto, o início da cadeia produtiva ocorre quando o bambu nasce por meio da germinação espontânea ou da criação de mudas e plantas. Quando está maduro para o fim a que se destina, é colhido (figura 4.9), seco e tratado, podendo ou não passar por melhoramentos de transformação para seu uso.



Fig. 4.9 – Extração de bambu Guadua [33]

Para um bom desenvolvimento de bambus em plantações, é levada em consideração a aplicação de boas práticas de silvicultura, que é uma ciência dedicada ao estudo de métodos naturais e artificiais de regeneração e melhoria dos biomas florestais, incluindo o estudo botânico de espécies como a determinação de espécie, características e utilização mais indicada para a madeira.

A criação de bambu necessita ainda de mais informações para aumentar a produção e utilização desse material no Brasil, como sobre o plantio de mudas, espécies, áreas disponíveis para plantação ou mapeamento de moitas, mão de obra especializada para manuseio e estudos de preço de venda de colmos sem tratamento e mudas, entre tantas outras partes a serem analisadas, compiladas e divulgadas pelos interessados de forma mais integrada e sistemática.

4.3. PLANTIO

O bambu é uma planta que se adapta bem aos mais diversos climas, devido a isso seu plantio pode ocorrer durante todo o ano. Algumas pesquisas defendem que o período para plantar bambu varia de acordo com a espécie. Para espécies com rizoma paquimórfico (não alastrantes), a recomendação é que o plantio ocorra na estação das chuvas. No entanto, para as leptomórficos (alastrantes), é recomendado que o plantio aconteça na época da seca.

Na prática, boa parte dos produtores de bambu realizam o plantio durante a época das chuvas, porque assim o solo requer menos preparo. As plantas necessitam de um grande espaçamento entre as mudas, como pode ser visto na figura 4.10. Esse espaçamento varia com a espécie sendo que, no geral, o espaçamento vai de 2.5 a 10 metros entre linhas e 2.5 a 10 metros entre mudas.

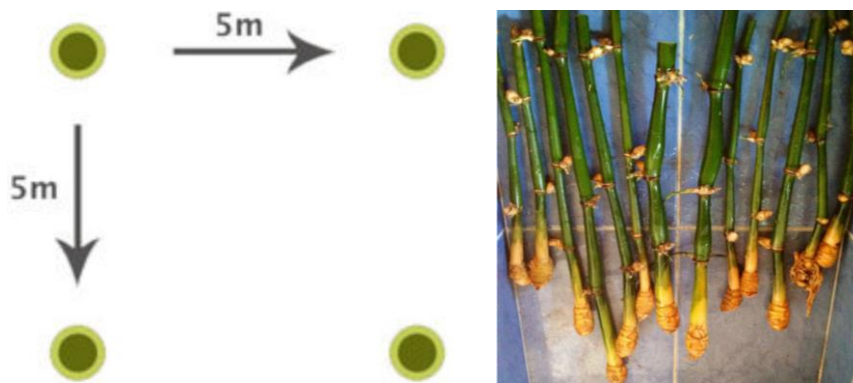


Fig. 4.10 – Espaçamento de plantio e mudas do bambu [33]

Nas primeiras horas do dia deve ocorrer o plantio dos bambus, pois aumenta a probabilidade das mudas "pegarem no solo". Pode ser necessário fazer novos plantios na área para cobrir falhas devido às mudas que não "pegam" e morrem.

Deve-se ter cuidado para escolher áreas com sombras ou sob coberturas temporárias para plantar o bambu, como em viveiros para reduzir a evaporação dos enxertos e auxiliar no enraizamento. Embora possam ser encontradas em qualquer lugar entre 0m e 2.500m acima do nível do mar, essas plantas prosperam melhor em altitudes entre 800m e 1.700m. Os bambus devem ser plantados em locais sombreados. Em relação às necessidades de chuva, os bambus geralmente crescem bem com chuvas de pelo menos 1.100 mm por ano.

O local da plantação de bambu deve ser mantido limpo de outros arbustos e restos de folhas podem ser mantidos como fertilizante. Devemos colher todo ano apenas os caules maduros, buscando eliminar os caules com algum defeito ou doença, evitando assim o comprometimento da moita e o crescimento de novos brotos.

Na criação das mudas são utilizados caules que foram cortados recentemente. Os caules são cortados cerca de dez ou quinze centímetros acima e abaixo da zona nodal, ramos e folhas que esse colmo tenha são deixados para que o mesmo continue a realizar fotossíntese. Um caule pode produzir várias mudas.

As mudas de bambu devem ser plantadas em locais com planos ou com leves inclinações, que são mais propícias para o cultivo. Essas áreas permitem um melhor preparo do solo ao arar e melhoram a eficiência das operações de plantio, manutenção, colheita e mobilidade dentro das plantações, reduzindo assim os custos gerais de produção.

Algumas pesquisas têm sido realizadas com o cultivo integrado usando o bambu como forma de criar uma mata nas plantações de árvores de grande porte. Além de diversificar o local, essa técnica ajuda a manter a fertilidade do solo, pois os resíduos produzidos pelo bambu tendem a se acumular no solo da floresta e assim a servir de fertilizante para as árvores vizinhas.

Acredita-se que esse acúmulo de decomposição da serapilheira que ocorre nas plantações de bambu seja um fator chave na restauração da fertilidade durante o período de pausa dos sistemas de cultivo alternados. Isso permite que o sistema recupere a maioria dos nutrientes que foram extraídos mais profundamente no perfil do solo durante os anos de cultivo. Portanto, o cultivo prévio de bambu torna-se interessante, pois diminui os custos de fertilizantes da próxima plantação.

4.4. CORTE

Deve-se ter cuidado na colheita do bambu e uma seleção preliminar deverá ser feita dos caules que amadureceram adequadamente. Portanto, alguns métodos e critérios devem ser analisados:

O corte deve ser feito próximo ao primeiro ou segundo nó, tomando-se o cuidado de não criar vasos que possam acumular água, o que pode apodrecer os rizomas e afetar a saúde da moita.



Fig. 4.11 – Corte correto e incorreto do bambu [38]

Os pesquisadores e produtores de bambu indicam realizar a colheita no período mais frio e seco, pois os caules possuem nessa altura menor teor de umidade. Devido a isso eles estão mais leves e fáceis de transportar. Além disso, os insetos hibernam, o que reduz a possibilidade de um ataque mais forte ao bambu.

Identificar os caules maduros para a colheita, normalmente os que têm pelo menos 4 anos, sendo que geralmente apresentam cascas esbranquiçadas devido ao acúmulo de líquen. Quanto mais líquenes houver, mais velhos serão os caules de bambu. Os caules adultos normalmente ficam mais no centro, enquanto os brotos e caules novos ficam mais na parte mais externa da moita.

Os bambus quando estão verdes, liberam bastante água ao serem colhidos da moita. Em muitos casos eles murcham e, portanto, perdem resistência, deixando assim de ser viáveis para uso estrutural. Por outro lado, como ficam com menos seiva presente nos caules, são menos suscetíveis ao ataque de pragas.

É dada preferência a peças que são resistentes ao corte, mas não apresentam sinais de infestação por manchas de secagem na parte superior dos colmos, indícios de degradação costumam aparecer em bambus de pelo menos 6 anos. Depois do corte dos caules, são realizadas as etapas de tratamento e armazenamento.

4.5. SECAGEM

Depois do corte, os caules perdem umidade naturalmente. Se essa perda acontece muito rápido e irregularmente, é mais provável que apareçam deformações e rachaduras. Uma das principais causas de defeitos e alterações dimensionais no bambu resulta de variações bruscas de umidade, resultantes de secagem descontrolada.

O processo de “secagem controlada” permite diminuir a ocorrência de defeitos em 10 a 15%. A secagem também atribui vantagens como uma superfície com mais acabamento, melhor adesão aos materiais protetores externos e, adicionalmente, reduz o peso das peças. Existem três métodos de secagem mais utilizados que são: ao ar livre, em estufas ou ao fogo:

4.5.1. SECAGEM AO AR LIVRE

O método mais usado é secar os caules ao ar livre, por ser mais fácil de executar e de baixo custo atribuído.

Ao ar livre, o período de secagem não tem um tempo determinado para ser seguido. Temos uma previsão que varia de 4 a 13 semanas, período que leva os caules de bambu de maior diâmetro para secar, ganhar resistência, evitar rachaduras e para que atinjam o nível de umidade ideal para as construções, na figura 4.11 podemos ver um exemplo deste tipo de secagem.



Fig. 4.12 Secagem de bambus ao ar livre [33]

Apesar da secagem ser ao ar livre, as peças devem ser protegidas das chuvas e outros fatores externos que possam comprometer a sua qualidade, como evitar ataques de pragas.

Depois de serem secos, o indicado é medir o teor de umidade com um medidor eletrônico normalmente usados para madeira e calibrá-lo adequadamente pelo procedimento de estufa.

4.5.2. SECAGEM EM ESTUFAS

O mesmo processo de secagem utilizado em madeiras (estufas/autoclaves) pode ser usado para secar bambu. É um procedimento que oferece maior velocidade e mais controle do teor de umidade da peça.

Para diminuir defeitos resultantes da perda rápida de umidade após o corte, se possível, o caule deve ser seco de forma lenta e uniforme em local protegido da chuva e do sol e ventilado para assegurar a homogeneidade dos caules.

4.5.3. SECAGEM AO FOGO

A secagem pode ser executada por maçaricos ou queimadores, conforme mostrado na figura 4.12. Este método permite que o amido e o açúcar no caule sejam reduzidos.



Fig. 4.13 Secagem de bambus com maçarico [37]

A secagem também pode ser feita em fornos ou tanques (recipientes sob a influência do calor). Quando sujeito ao fogo, o bambu retira água e outras substâncias da superfície, que após o aquecimento podem ser removidas com um pano.

Deve-se tomar cuidado durante o procedimento para garantir que o calor não seja tão intenso a ponto de causar retração excessiva e danificar as peças. Ainda devemos garantir que o calor seja distribuído de maneira uniforme, rotacionando constantemente a peça sob a fonte de calor.

Antes de começar o procedimento, é recomendável que a umidade da peça seja diminuída até 50%. Este método de secagem ao fogo é eficiente e não só pode remover restos do bambu, mas também pode ser usado para alinhar peças tortas. Por outro lado, é um processo que pode gerar erros e defeitos, como: trincas na superfície e nas extremidades; fissuras por toda a peça; alterações na forma e mudanças de cor. É um processo muito técnico e que exige uma enorme precisão e perícia do operador.

4.6. PROTEÇÃO, CURAS E MELHORAMENTOS

Os melhoramentos dos caules de bambu devem ser realizados para estender a durabilidade e a vida útil dos caules. Para diminuir a infestação por insetos e pragas, que costumam se alimentar do amido presente no caule do bambu, cuidados devem ser tomados ao longo da cadeia produtiva. Esses cuidados incluem desde a escolha de tipos menos suscetíveis de bambu até o tipo de maturação, utilização, secagem e armazenamento.

Os melhoramentos dos caules exigem atenção até para o armazenamento e uso do bambu. Diversas técnicas têm sido usadas para esse fim, como uma imersão a frio, aplicação de produtos químicos e tratamentos térmicos. A seleção da técnica de melhoramento necessita de algumas análises, tais como, o uso pretendido, se é verde ou seco, quantos bambus serão tratados, entre outras.

Em diversos locais, a limitação do uso do bambu se deve à sua vida útil, que varia de 1 a 3 anos sem melhoramentos em contato com o terreno e de 4 a 6 anos sem melhoramentos e sem contato com o terreno. A utilização adequada dos caules, é de suma importância para garantir vida útil mais longa.

As partes estruturalmente mais necessárias não precisam apenas estar secas, mas também devem ser dos caules maduros e ser impermeáveis. Podemos tornar a peça impermeável de diferentes formas e ao mesmo tempo com melhoramentos com medidas de proteção por meio de seladores, tintas e vernizes. Às vezes, areia fina pode ser adicionada junto com a proteção externa (seladores, tinta, verniz), o que torna a superfície mais áspera e aumenta a aderência dos materiais em contato com outras superfícies acabadas.

4.6.1. PROTEÇÃO POR PROJETO

Existem vários tipos de procedimentos naturais e químicos que podem ser usados para prolongar a vida útil do bambu. É crucial que a técnica seja inofensiva ao ambiente e para quem vai executar, seja eficiente contra os organismos xilófagos e seja facilmente acessível ao usuário para os produtos desejados.

Contudo, para prolongar a vida útil de uma peça de bambu, o principal ponto é garantir uma "proteção por projeto". Para isso podemos adotar soluções construtivas como: evitar que o bambu fique em contato direto com o terreno, para isso podemos utilizar bases de betão ou pedras, como visto na figura 4.13, uso de beiral maior nas coberturas (figura 4.13). Estas soluções construtivas são simples, mas têm um efeito mais positivo do que diversos tratamentos aplicados nas peças.



Fig. 4.14 Bases de elevação para pilares; Estrutura de bambu protegida por beiral da cobertura [40]

Em outras palavras, mesmo peças de bambu de boa qualidade e que foram tratadas com preservantes de forma correta podem ter problemas de desempenho deficiente se forem posicionadas incorretamente em uma estrutura.

4.6.2. TRATAMENTOS NATURAIS

Os melhoramentos naturais são os que não usam produtos químicos. Apesar de constituírem processos menos agressivos para o bambu, também são os menos eficientes para proteger as peças, especialmente quando expostas ao ambiente. É importante enfatizar que tais formas de tratamento não devem ser orientadas se o objetivo for aumentar a vida útil para o bambu, pois outras soluções técnicas podem ser adotadas, como a "proteção de projeto" já citada anteriormente.

4.6.2.1. MATURAÇÃO OU CURA NA MATA

O bambu é apenas cortado e mantido em pé (encostado em outros bambus da moita), sem contato com o solo (são colocadas pedras sob a peça), até que o excesso de seiva não saia mais. Os galhos e folhas dos caules são mantidos para auxiliar a transpiração das folhas. No entanto, tal método não tem impacto significativo na durabilidade do caule quando este é posteriormente colocado em contato com o solo.

4.6.2.2. CURA POR IMERSÃO SIMPLES

No processo de cura por imersão simples, mostrado na figura 4.14, os caules são colocados imersos em água corrente (córregos) por até 4 semanas ou em água parada, como em reservatório sendo imersas em água ou soluções de preservação para tratamento por 3 a 8 semanas. O objetivo da maturação por imersão é remover a seiva e, simultaneamente, enfraquecer ou diminuir o teor de amido.



Fig. 4.15 Imersão em água corrente [33]

Dependendo do uso pretendido par os bambus, o tempo de cura será determinado. Imerso por 6 semanas, o bambu fica mais leve e frágil. Em contrapartida, quanto maior o tempo de maturação, maior a proteção contra infestação de pragas, sendo também observados os limites de tempo de retenção do agente de impregnação.

Para os líquidos do tratamento penetrarem melhor, os nós de bambu devem ser perfurados. O exterior do caule deve ser lavado com jatos de água pressurizada para obter o melhor aspecto possível do bambu, remover a sujeira e os detritos, para evitar a contaminação da solução.

4.6.3 TRATAMENTOS QUÍMICOS

As técnicas que utilizam produtos químicos para o tratamento dos caules de bambu são mais eficientes do que as técnicas naturais. Quando bem feito, o tratamento químico protege os caules da infestação de pragas e aumenta a vida útil dos caules que terão contato com o terreno. Os produtos químicos de preservação, quando usados em quantidades apropriadas, são tóxicos para as pragas, mas não para o aplicador ou outras pessoas. Assim como na preservação da madeira, os produtos químicos usados em bambu podem ser divididos nas seguintes categorias: oleosos, solúveis em óleo e solúveis em água. Na figura 4.15 podemos um reservatório com produtos químicos para tratamento.



Fig. 4.16 Reservatório e produtos químicos para tratamento de bambu [33]

4.6.3.1 PRODUTOS OLEOSOS

O produto oleoso mais usado nesse processo de preservação do bambu é o creosoto. A técnica mais comum usando produtos oleosos é o banho quente / frio. É um procedimento muito eficaz contra o ataque de insetos e microrganismos do solo.

É uma técnica recomendada para se aplicar em bambus que vão desempenhar funções estruturais, tais como em pilares, mastros e treliças. Neste tipo de técnica, os caules secos são banhados em uma solução quente e, em seguida, banhados na mesma solução, mas em temperatura ambiente.

4.6.3.2 PRODUTOS SOLÚVEIS EM ÓLEO

O produto solúvel em óleo mais usado em técnicas de preservação de madeira, é o pentaclorofenol (pó-da-china). É um produto bastante tóxico, devido a isso possui restrições ao seu uso em diversos países.

4.6.3.3 PRODUTOS SOLÚVEIS EM ÁGUA

Os conservantes solúveis em água consistem na combinação de diferentes tipos de sais, cujas soluções aquosas entram nos elementos anatômicos do colmo e agem na lignina. São então formados compostos insolúveis que são tóxicos para as pragas. Os sais mais comumente usados são: sulfato de cobre ou zinco; Ácido bórico ou ácido crômico; Dicromato de sódio ou potássio. Um dos produtos mais comuns é o borato de cobre cromado (CCB) ou uma mistura de ácido bórico e bórax (octaborato de sódio ABB).

4.6.3.4 TRATAMENTO POR IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO BÓRICO E BÓRAX

Esta técnica é muito eficiente para proteger contra o ataque de insetos. Os produtos utilizados são fáceis de encontrar nas lojas especializadas em fertilizantes ou na internet. É sempre observado se os produtos apresentam algum grau de pureza e informam a correta quantidade de sais.

Durante o processo, quando imerso, o sal penetra por meio de osmose, que só é eficaz se houver umidade suficiente para que a solução migre pelos elementos anatômicos do bambu. Portanto, é importante que o bambu não fique muito seco, pois em uma superfície completamente seca o sal imunizante não consegue entrar e apenas a água é absorvida, deixando o caule sem proteção.

Esta técnica de melhoramento é a de menor custo e menor risco de contaminação para os utilizadores. No procedimento é usada uma solução líquida composta por diluição de bórax (4% a 8%) e ácido bórico

(4% a 8%). Este procedimento é muito difundido em vários países e deve ser realizado em reservatórios de imersão (figura 4.16), onde o bambu fica por no mínimo 10 dias.



Fig. 4.17 Reservatório para tratamento por imersão com uso de bórax e ácido bórico [34]

Alguns aspectos devem ser levados em consideração para a execução deste método:

- É essencial realizar uma limpeza prévia do bambu para retirar qualquer resíduo de fungos externos, musgos e líquens, visando evitar a contaminação da solução e aumentar a vida útil da peça;
- Usar caules verdes ou relativamente secos, dando prioridade aos caules verdes, por causa do maior teor de umidade, ideal para uma melhor eficiência desta técnica;
- Para facilitar a absorção e atingir uma boa homogeneidade durante o método, é essencial perfurar todos os nós do caule;
- Os caules devem ficar totalmente imersos na solução.

4.6.3.5 TRATAMENTO BANHO A QUENTE

Após a secagem ao ar, as peças são imersas em soluções de preservação em reservatórios abertos. É aplicado nos reservatórios a uma temperatura de 90°C e, em seguida, os bambus são colocados em barris abertos sobre o fogo.

O banho quente é utilizado para diminuir o teor de amido nos bambus. Isso acontece porque nos colmos que ficam imersos em água com temperatura acima de 65 ° C, o amido é removido junto com a água.

Essa técnica é mais eficiente quando os bambus apresentam um teor de umidade antes do início do tratamento menor que 20%. Realizando furos nos diafragmas dos colmos podemos evitar o aparecimento de fissuras. A sua absorção ao longo de 7 dias pode ser igual à do processo de cura por imersão simples. No entanto, se o período for ampliado para 35 dias, a absorção pode ser 2 vezes maior do que no método da autoclave.

4.6.3.6. TRATAMENTO À VAPOR

Um grupo de barris soldados é ligado a um tanque fechado com água. A água do tanque é aquecida, produzindo vapor que é enviado para os barris, onde estão os caules de bambu. O vapor é usado para remover a seiva e é importante a aplicação de conservantes após o processo. Esse procedimento leva cerca de duas horas a ser realizado.

4.6.4. MÉTODOS SOB PRESSÃO

Todas as técnicas apresentadas anteriormente, são simples de serem realizadas, mas possuem grandes problemas e exigem bastante tempo para serem executadas corretamente, devido à baixa velocidade de penetração da solução, além dos poucos números de caules que podem ser tratados de uma só vez. Dessa forma, é em geral melhor recorrer a técnicas que utilizam pressão para encurtar a duração do processo. Os três principais tipos de tratamento são os que abaixo se apresentam.

4.6.4.1. TRATAMENTO EM AUTOCLAVE

Nesta técnica usamos o mesmo equipamento normalmente utilizado para tratamentos em madeira, como é mostrado na figura 4.17. Antes de inserir os caules na autoclave, é imprescindível perfurá-los com uma barra metálica, pois o ar preso nas hastes será expelido durante a fase de execução do vácuo, o que na maioria dos casos iria rachar os caules, tornando inviável a sua utilização como material de construção.



Fig. 4.18 Autoclave para tratamento dos bambus [39]

Avaliado para uso em bambu por diversos especialistas, o autoclave foi considerado muitas vezes como uma alternativa ineficiente, devido ao risco de lesões que provoca nas peças. Os principais conservantes usados neste tratamento são: tanino, bórax e ácido bórico, produtos químicos à base de CCA e CCB e soluções deles derivadas usando peróxido de hidrogênio e água para método por imersão a quente.

4.6.4.2. TRATAMENTO BOUCHERIE

Esta técnica é baseada na troca rápida da seiva por uma solução que vem de um recipiente de sob pressão. Permite assim que vários bambus de diferentes comprimentos sejam tratados ao mesmo tempo, como pode ser visto na figura 4.18. O tempo de execução varia de acordo com o comprimento dos bambus.



Fig. 4.19 Central de aplicação do tratamento Boucherie [34]

Esse procedimento só deve ser utilizado em caules de bambu que foram cortados recentemente ou previamente imersos em água pois, no início da secagem do caule, aparecem bolhas de ar nos vasos, atrapalhando ou bloqueando a passagem da solução de preservação.

Em geral, a principal desvantagem desse procedimento é o fato de os caules de bambu não possuírem diâmetros iguais e, por isso, alguns cuidados são necessários em suas ligações com as conexões metálicas, o que aumenta significativamente o tempo necessário para a execução do processo. Na maior parte dos casos, esse tem sido o principal problema na aplicação da técnica - onde encontrar conexões adaptáveis a diversos tamanhos e de fácil aplicação.

Outro ponto que se deve levar em consideração diz respeito ao armazenamento do bambu após o método, tendo de ser realizado em local coberto, bem ventilado, sem contato com o solo e de preferência em estantes, como pode ser visto na figura 4.19.



Fig. 4.20 Estante para armazenamento dos bambus [34]

O uso de estantes permite uma boa circulação de ar entre os caules e garante uma secagem mais rápida e mais homogênea. A distribuição dos bambus conforme o diâmetro e o comprimento facilitam o manuseio e a sua seleção e recolha para o uso. Recomenda-se que os caules armazenados sejam verificados constantemente para identificar possíveis ataques de insetos ou fungos. Nesse caso, o bambu deve receber um novo tratamento ou ser descartado para não comprometer outras peças.

4.6.4.3. TRATAMENTO POR PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Consiste na troca da seiva por meio de pressão hidrostática, e representa um melhoramento em relação ao tratamento por imersão simples. A seiva escorre de um vaso acima do caule e é retirado na outro lado do bambu. A técnica dura entre 4 e 7 dias. A técnica hidrostática baseia-se apenas na aplicação de princípios físicos de substituição de material constituinte dos bambus (água livre ou de constituição) por produtos preservantes.

5

PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS DE BAMBU

5.1. Introdução

Os produtos industrializados baseados em bambus podem ter vários níveis de desenvolvimento, desde um baixo grau de melhoramento até elementos complexos e prontos a usar em soluções pré-fabricadas ou com alta automatização.

O bambu, na sua forma natural, pode ser usado em forma de colmos inteiros, tiras ou ripas que podem ser combinadas de diferentes maneiras, como para a fabricação de esteiras, painéis, cestos, em lamelas, em lâminas ou em fragmentos para a produção de materiais industrializados, tais como aglomerados, laminados ou micropartículas compactadas. Parte desses produtos podem ser vistos na figura 5.1.

Estes elementos podem ser obtidos com vários graus de processamento mecânico por meio de processos industriais primários. Essas utilizações são descritas melhor no decorrer deste capítulo. [37] [44]

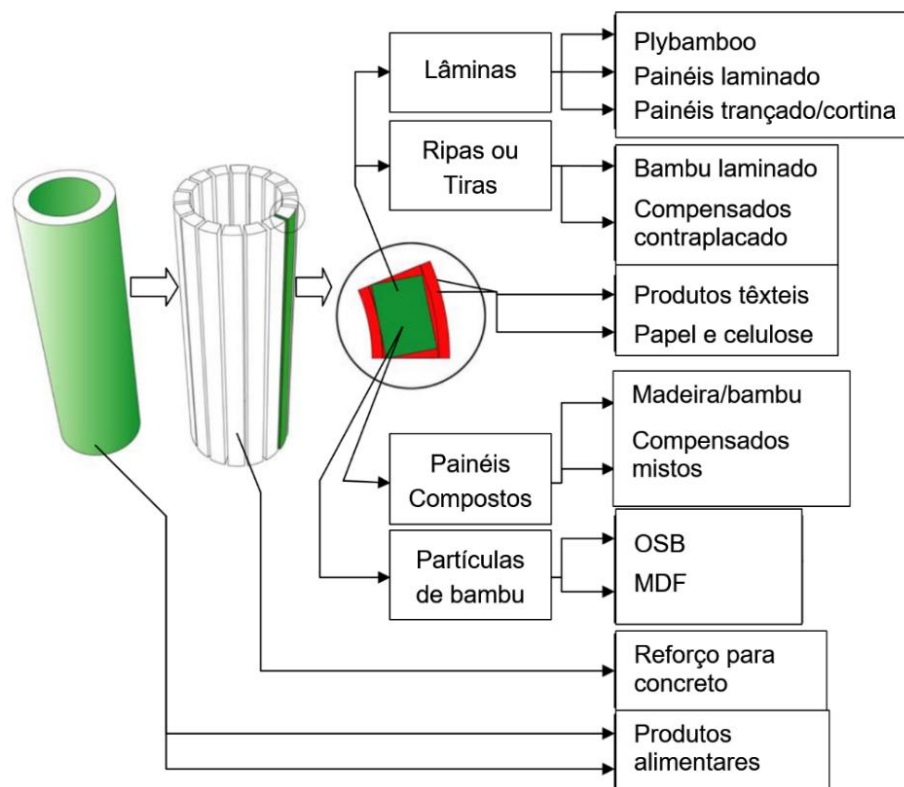


Fig. 5.1 Principais produtos industrializados do bambu [41]

Quanto maior for a mudanças e melhoramentos empregados no processo de fabricação do elemento derivado do bambu, maior será a energia atribuída na transformação. Este tópico é importante quando se analisa o bambu numa perspectiva de sustentabilidade integrada e de economia circular (pensamento focado em temas como a “produção de materiais numa lógica local”; “suporte à fixação de populações e fomento da atividade florestal e de silvicultura”; “poupança de energia”.

Exemplificando apenas no que diz respeito à energia, pode-se pensar em produtos com pouco melhoramento e que usam assim consequentemente uma baixa energia de transformação, tais como colmos inteiros e colmos naturais fragmentados. Em alternativa, podem-se enumerar produtos com elevado índice de industrialização tais como revestimentos de todos os tipos, pisos e laminados e que necessitam de uma maior energia de transformação. E finalmente, podem-se enumerar produtos mais complexos tais como janelas, portas, painéis, vigas, que consomem ainda mais energia nos respetivos processos de transformação. Qual a sua visão a utilização do bambu e seus derivados? [37]

5.1.1. Bambu laminado colado (BaLC)

O bambu laminado colado popularmente conhecido pela sigla "BaLC" é um produto processado que é bastante utilizado na construção civil. A diferença entre o compensado laminado de bambu (Plybamboo) e o bambu laminado colado (BaLC) é o processo de fabricação e as diferentes características do produto.

Na fabricação do BaLC, os caules de bambu são cortados em ripas de 0,5 a 30 mm de comprimento e 10 a 20 mm de largura. As ripas são então coladas e secas e várias camadas de tiras são colocadas juntas e laminadas e formam tiras laminadas de bambu. As camadas internas também podem ser feitas a partir de outros materiais, como madeira. As tiras são embebidas em resina e dispostas paralelamente. As tiras banhadas em resina são comprimidas entre si sob alta pressão e, em seguida, uma serra é usada para deixar os lados uniformes, ao nível da espessura e da largura. Antes de prensar, as tiras de bambu devem ser branqueadas ou carbonizadas. Os produtos são multicamadas. [41]

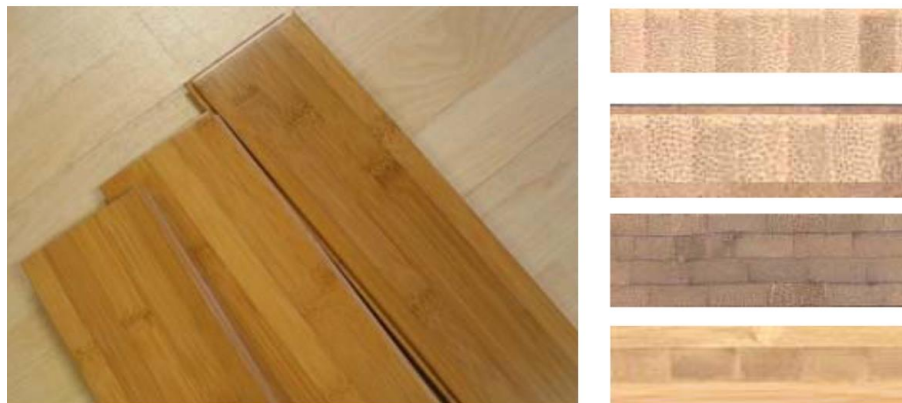


Fig. 5.2 Bambu laminado (esquerda) e cortes transversais de diferentes estruturas (direita) [41]

A primeira e a segunda parte do processo de produção podem ser realizadas manualmente ou industrialmente. Para dividir caules de bambu, pode-se usar uma faca convencional ou uma máquina de corte moderna, que diferem em eficiência e custo. As tiras de bambu coladas e banhadas, geralmente, são processadas manualmente, mas também podem ser produzidas com algumas máquinas simples com baixo grau de automação. [41]

Para prensar as peças, uma máquina que aplique alta pressão e alta temperatura é fundamental para garantir a qualidade do produto. O bambu laminado colado (BaLC) possui alta densidade, ótimas características mecânicas, e é um produto multifacetado, sendo aplicado em diversos tipos de piso, acabamento internos das construções, móveis ou itens de decoração. [41]

5.1.2. Compensado Laminado de Bambu (Plybamboo)

A origem do nome “Plybamboo” vem de um elemento semelhante feito de madeira o "Plywood". Constitui atualmente um dos principais materiais pré-fabricados, derivados do bambu. Junto com o bambu laminado usinado, eles são os principais responsáveis pela maior parte dos componentes industrializados de bambu. [41]

As propriedades desses componentes de bambu são comparáveis com os "tradicionais", semelhantes, feitos em madeira. O procedimento de fabricação e o maquinário possuem semelhanças como a indústria madeireira, mas é preciso algumas adaptações para o uso. Diferente das árvores, o bambu possui estrutura oca (maioria das espécies) o que torna o procedimento mais complicado. Para entendermos a sequência do processo de fabricação podemos ver a imagem 5.3.

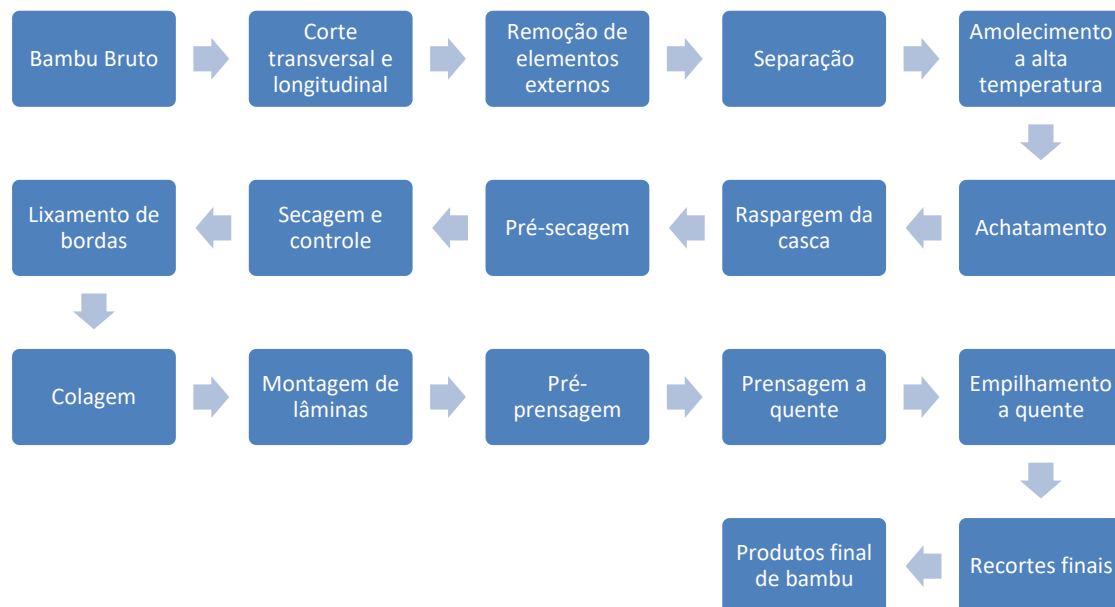


Fig. 5.3 Bambu laminado e cortes transversais de diferentes estruturas [41]

No começo do procedimento, os caules dos bambus são cortados em pedaços lisos, com uma espessura determinada e são removidos elementos externos como galhos e folhas. Então são separados, em seguida amolecidos usando alta temperatura (vapor d'água), logo depois com a máquina de prensagem a quente, as tiras são deixadas macias e planas com um comprimento de 60 a 120 mm. Em seguida, são removidas as cascas, onde não podem ser evitadas rachaduras. Nesta etapa ocorre a pré-secagem para tirar o excesso de líquidos, depois ocorre a secagem definitiva para deixar o material na umidade desejada, o próximo passo é o lixamento das bordas. Ocorre então em seguida a colagem das tiras de bambu. As tiras sofrem uma pré-prensagem para fixar no lugar exato, depois ocorre a prensagem da camada. Em seguida, são montadas alternadamente no sentido do comprimento e largura e, em seguida, a máquina de prensar pode pressionar as diferentes camadas de tiras novamente a quente junto com a resina de fenol-formaldeído para formar o Plybamboo. A tecnologia de prensagem e achatamento a alta temperatura é

simples, e a taxa de uso é relativamente alta. A desvantagem é que podem aparecer fissuras na superfície. [41]

O Plybamboo oferece um painel de grandes dimensões com ótimas características mecânicas, como alta resistência, baixa deformação e forma estável. Os revestimentos de bambu variam de 4 a 9 mm de espessura. A maioria do Plybamboo tem de 3 a 5 camadas. A densidade é de 0,8 - 0,85 g/cm³. Devido às fissuras que ocorrem no procedimento de prensagem, a qualidade da superfície que fica à vista não é tão bonita e brilhante como as superfícies de materiais semelhantes fabricados a partir de madeiras.

As chapas de Plybamboo são utilizadas principalmente na construção civil para fabricação de formas e painéis para a produção de elementos de betão. Também é bastante utilizado como fundo assoalhado de caminhões e ônibus. [41]

O Plybamboo pode produzir esteiras e chapas, conforme mostrado na Figura 5.4. A diferença entre esteiras de plybamboo e cortinas de plybamboo está no procedimento e padrão de tecelagem. Para produção de revestimentos de bambu compensado, tiras de 0,8 a 1,2 mm de espessura são montadas em esteiras, coladas e secas antes de serem unidas e pressionadas. [41]



Fig. 5.4 Esteiras (esquerda) e chapas (direita) de Plybamboo [41]

O trabalho da separação e tecelagem pode ser feito com ferramentas manuais, de modo que podem ser feitos com equipamentos simples em residências rurais. A produção também requer pouca matéria-prima, de forma que bambu com diâmetros de tubo diferentes pode ser usado. Também é fácil construir uma fábrica para produzir materiais mais fáceis de usar, o que permite recorrer a bambus de menor diâmetro. [41]

Tal como acontece com a esteira de bambu, os talos de bambu são divididos em tiras e entrelaçados. A única diferença está no tipo de trama. Na fabricação de cortinas de bambu, as tiras de bambu são colocadas de forma paralela entre si, com uso de cordas entre elas para garantir a ligação.

A ferramenta de divisão é semelhante à usada para fazer esteiras de bambu e pode ser feita à mão ou à máquina. Mas na tecelagem, um tear especial é normalmente usado para tornar a tecelagem mais precisa e eficiente. Em comparação com a chapa, a cortina de Plybamboo é mais usada para decoração de interiores e design de móveis. [41]

5.1.3. Placa de aglomerado de bambu (aglomerado de partículas)

A produção de aglomerados de bambu tem como objetivo aumentar e potencializar a taxa de utilização do bambu. Para isso são utilizados os bambus que não possuem grande valor comercial como material não transformado tais como: partes do caule que não podem ser usadas na produção de Plybamboo,

bambus com pequenos diâmetros, bambus com baixa resistência mecânica ou pouco resistentes a ataques de pragas, entre outros motivos. Eles são cortados em pequenos pedaços e transformados em aglomerados de bambu. [41]

O procedimento de fabricação do aglomerado de bambu é semelhante ao do aglomerado tradicional feito de madeira: laminação, corte, secagem, colagem, espalhamento e prensagem a quente. As máquinas para fazer cavacos de bambu também são semelhantes às usadas para transformação da madeira. A máquina de corte corta o bambu em pequenos lascas (cavacos), como pode ser visto na figura 5.5. A máquina de colagem cola todos os pequenos pedaços e a prensa dá a última etapa de prensar as lascas em uma placa e dar a ela um formato padronizado. [41]



Fig. 5.5 Cavacos de bambu (esquerda) e aglomerado de bambu (direita) [41]

Comparando com outras componentes de placas de bambu, a taxa de aproveitamento da matéria-prima para chapa de aglomerado de bambu é elevada: 1,4 toneladas de matéria-prima dão origem a 1 m³ de aglomerado de bambu. [41]

Os painéis de bambu podem ser usados na construção civil em estruturas tais como: [41]

- Paredes e divisórias leves;
- Painéis de telhado e tetos;
- Persianas de portas, painéis e painéis decorativos.

Também pode ser usado como material de enchimento. Nesta aplicação, cortinas de bambu ou esteiras de bambu podem ser coladas em grupos para obter superfícies mais espessas e com diferentes texturas.

5.3.4. Lâmina de bambu

A produção de lâmina de bambu tem como base a placa de bambu laminado, sendo que a placa é cortada em finas camadas gerando assim a lâmina de bambu. Mesmo possuindo uma superfície que tem como característica uma elevada dureza, a lâmina pode ainda ser usada e colada a outros materiais, tais como aglomerado de partículas de madeira, MDF e multiplex. [41]

De acordo com o processo de fabricação de alguns fabricantes, os caules de bambu são primeiro cortados em tiras, depois pressionados horizontalmente ou lateralmente e colados sob pressão em placas ou painéis. A placa de bambu é laminada em um bloco, então condicionada e imersa em água. A lâmina de bambu é cortada em blocos. As lâminas de bambu são secas e selecionadas. Todas as lâminas com falhas são classificadas e cortadas em formatos menores; os formatos menores são então conectados a um formato regular por uma máquina de emenda longitudinal. O bambu é processado em tiras com máquinas de corte e serras. A máquina de colagem e a prensa são usadas para transformar as tiras de

bambu em barras compridas e muito flexíveis (blocos). A máquina de corte de alta qualidade corta então esses blocos de bambu laminado em “fatias finas”, para obter a lâmina de bambu. [41]

A lâmina de bambu tem a beleza natural da estrutura do bambu e uma elevada dureza na superfície, como pode ser visto na figura 5.6. A dureza pode chegar a $4,0\text{N} / \text{mm}^2$. É muito flexível e resistente ao manuseamento na aplicação. Pode ser ligado a várias superfícies e materiais de construção e tem por isso uma muito ampla aplicação, inclusive como elemento a integrar em materiais compósitos de revestimento de piso ou de parede. Normalmente as lâminas de bambu são assim usadas como acabamento interno nas construções, bem como na fabricação de móveis ou outros materiais de decoração de interiores, já que são muito resistentes e com muito boa uniformidade ao nível da cor e textura. [41]

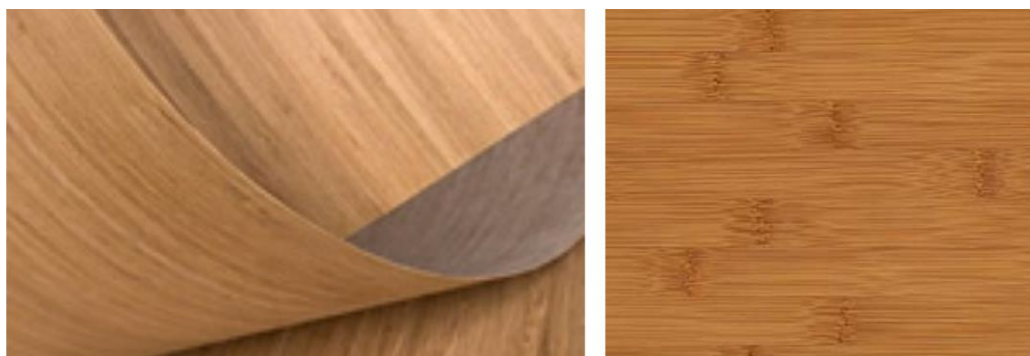


Fig. 5.6 Lâminas de bambu [41]

A lâmina de bambu tem a beleza natural da estrutura do bambu e a dureza de sua superfície, como visto anteriormente na figura 5.6; a dureza pode chegar a $4,0\text{N} / \text{mm}^2$. Tem como característica sua flexibilidade. Podendo ser aderido a várias superfícies e materiais de construção na sua ampla aplicação. Normalmente as lâminas de bambu usadas como acabamento interno nas construções, na fabricação de móveis ou materiais de decoração de interiores. [41]

5.1.5. Painéis de partículas orientadas (OSB) baseados em bambu

Os painéis de partículas orientadas - OSB (sigla em inglês para Oriented Strand Board) são um dos principais materiais utilizados na construção civil. As principais diferenças do OSB para os outros painéis de partículas é a distribuição das partículas e suas dimensões. As partículas dos painéis comuns são dispostas aleatoriamente e com dimensões de aprox. 40 mm de largura por 40 mm de comprimento mais curtos e mais largos, enquanto o OSB é orientado em camadas dispostas verticalmente. [42]

De acordo com pesquisadores, o OSB produzido no Brasil segue um padrão de possuir quatro camadas, duas voltadas para fora na direção longitudinal e duas cruzando-se verticalmente para dentro, conforme mostrado na figura 5.7.

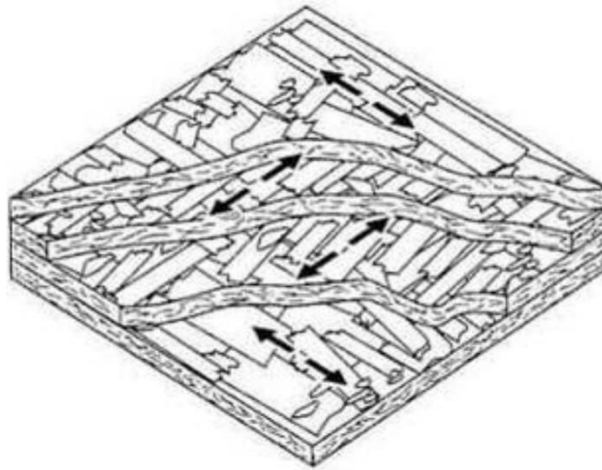


Fig. 5.7 Distribuição de camadas do OSB [42]

Na fase da colagem, as duas camadas externa e longitudinal recebem PF (fenol) e as camadas interna e transversal recebem MDI. A resina tem o objetivo de evitar que os painéis se desagreguem quando expostos à água. As colas à prova d'água são as mais comumente usadas na fabricação de OSB porque são extremamente resistentes às intempéries e não se decompõem na presença de umidade. A aplicação de cola líquida garante um equilíbrio de umidade. A solidificação das partículas com a resina ocorre, dependendo do tipo de resina utilizada, por prensagem a frio ou prensagem a quente.

Os painéis de OSB que usam partículas de bambu como matéria-prima base são em tudo semelhantes aos painéis de OSB baseados em partículas de madeira.

5.1.6. Compósitos de bambu com outros materiais

5.1.6.1. Painéis sanduíches de bambu e madeira

Os painéis sanduíche de madeira e bambu utilizam na camada externa esteiras de bambu e cortinas de bambu e as ripas de madeira são usadas para as camadas internas. Uma camada de papel banhado com resina de fenol-formaldeído é usada entre as várias camadas. Em seguida, todas as camadas são colocadas juntas e pressionadas em um compósito que no fundo é um sanduíche de madeira com bambu com 30 mm de espessura total. [41]

A sanduíche de bambu tem um processo de fabricação semelhante ao do compensado. O produto é leve, e muito resistente. Possui excelente resistência ao desgaste, alta resistência e rigidez. A densidade é inferior a 0,85 g/cm³. Na construção civil, é utilizado em acabamentos internos e externos, sendo usado principalmente em fachadas. [41]

5.1.6.2. Painéis sanduíche de bambu laminado e de aglomerados de madeira

Os painéis sanduíche de madeira laminada de bambu consiste em uma cortina de madeira compensada de bambu (Plybamboo) para a superfície e várias placas de aglomerados de 10-12 mm de espessura para as camadas internas. A combinação da superfície de bambu e madeira no interior torna o sanduíche de madeira de bambu laminado com alta resistência e capacidade de suporte como o bambu e alto poder de fixação de pregos como madeira. Em comparação com o aglomerado de bambu, a estrutura do sanduíche com as camadas internas de madeira também economiza custos de produção. Na construção civil, é utilizado em acabamentos internos. [41]

5.1.6.3. Barro e bambu (pau-a-pique)

No Brasil, é muito comum se encontrar casas construídas com barro e bambu nas regiões mais pobres. A técnica consiste basicamente na montagem da estrutura da parede com varas de bambu na horizontal e vertical que funciona como armadura e estrutura base de suporte do “enchimento com argamassas naturais feitas com base em barros locais misturados com areia. Os vazios formados pela estrutura de bambus são preenchidos com esses barros, tal como pode ser observado na figura 5.7. [41]



Fig. 5.8 Casa de pau-a-pique [41]

Em alguns casos aparas de bambus são misturados ao barro, criando assim uma espécie de adobe de bambu, semelhante às placas de bambu e às placas sanduíche de madeira de bambu. Mas aqui lascas de bambu são usadas como material de enchimento; junto com o material de ligação natural, o produto é adequado para cargas de tração e pressão.

Este é um bom subproduto resultante da produção de painéis de bambu, já que uma grande porcentagem (até 30%) do caule de bambu é cortada como resíduo e geralmente usada para queima.

Além disso, este produto orgânico pode utilizar outros resíduos naturais, fibras vegetais como algodão, arroz e tecido do floema de juta, bem como almofadas de sementes, dependendo do tipo de resíduos, que podem ser obtidos de forma fácil e barata.

O produto final tem uma forma estável e alta estabilidade contra cargas de pressão. Este poderia ser um material ecológico com enorme potencial de design. Na construção civil é muito utilizado em paredes de construções vernaculares, como nas casas de pau-a-pique, como a representada na figura 5.7.

5.3.6.4. Betão armado e bambu [41]

O bambu foi utilizado junto com o betão pela primeira vez na China no início do século 20 para produzir betão armado. Após os chineses, diversos países também produziram experimentos e pesquisas sobre o betão armado com bambu. Essa utilização do bambu veio principalmente para substituir o aço durante o período da primeira e segunda guerra mundial, que devido a guerra se tornou um material escasso em diversos países. [41] [42]

Nessas pesquisas e experimentos, o bambu foi usado em várias formas de betão, como lajes, pilares, vigas, lajes de piso e paredes. Não só pelo seu baixo custo, mas também pela leveza e resistência do bambu, este pode ser uma boa alternativa ao aço para reforçar o betão armado. [42]

A união do betão com o aço para formar o betão armado tem como principal objetivo usufruir da capacidade elevada do betão de resistir a tensões de compressão e usar as vantagens do reforço de aço contra tensões de tração. Sendo, o módulo de elasticidade do bambu de apenas 1/10 do aço, os caules não podem ser usados para substituir esse metal. Porém, é possível utilizar este material para trabalhos auxiliares em que o betão armado com bambu não requeira grandes esforços ou os vãos sejam menores que 3,5 m. [42]

O uso do bambu como armadura para betão possui limitações por causa das propriedades do bambu, incluindo: má adesão do bambu ao betão, dificuldade de dobrar as hastes para ganchos de ancoragem, variação na resistência à tração e módulo de elasticidade no nó e nas áreas internodais do caule e sobretudo o facto de o bambu ter uma elevada suscetibilidade a ataques de fungos e insetos. [43]

Os principais fatores que influenciam a adesão entre os caules e o betão são: propriedades adesivas da matriz de cimento, as forças de fricção compressiva que ocorrem na superfície dos caules e devido ao formato da superfície e aspereza dos caules. As mudanças dimensionais no bambu devido à umidade influenciam esses fatores. Quando o bambu é usado como reforço, uma de suas principais desvantagens é a elevada propensão para absorver água. A capacidade do bambu em absorver água foi estudada em várias espécies, e muitas delas apresentaram resultados insatisfatórios para o uso como armadura. A que obteve melhores resultados foi o *Dendrocalamus giganteus*, o que torna este bambu o mais adequado para este fim. O desvio dimensional do bambu tratado devido à absorção de água pode levar a rachaduras mesmo no betão endurecido. [45]

6

PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DE UMA CASA VERNACULAR BRASILEIRA EM BAMBU

6.1. INTRODUÇÃO

Existem várias técnicas de construção com bambu, mas no Brasil a técnica colombiana é utilizada devido à Colômbia ser referência neste tipo de construção. Essa técnica é utilizada pela facilidade de uso, pela elevada resistência mecânica da construção e pelo uso de materiais que estão prontamente disponíveis no comércio. [34]

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) está a desenvolver uma norma técnica específica para estruturas de bambu. É composta por duas partes: a NBR 16828.1/2020 [53] e a NBR 16828.2/2020 [54].

No entanto, os engenheiros brasileiros normalmente ainda usam tanto a Norma Brasileira - NBR 7190/97, Projetos de Estruturas de Madeira, bem como, a norma colombiana NRS - 10 / Seção G12 - Regulamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - Estruturas em Guadua, como referência para os projetos. [34]

Antes de começar a construção, o projeto deve ser dimensionado e detalhado. É também recomendável a consulta de um profissional especialista em estruturas de bambu para o dimensionamento adequado. Os pontos mais importantes a serem determinados são: [34]

- Tipos de Fundações e apoios;
- Distribuição de cargas;
- Sistema de conexões;
- Finalidade de utilização;
- Vãos máximos a serem superados;
- Vedações e peso próprio;
- Tipo de cobertura, formas e peso próprio.

É fundamental analisar o equilíbrio da construção em termos de resistência mecânica para fazer frente às diferentes cargas (tensão, compressão, flexão, cisalhamento, etc.), bem como as que atuam nos pontos de conexões que representam neste caso um dos pontos mais frágeis e sensíveis das estruturas. Após

determinar os esforços podemos entender e definir o comprimento e diâmetros dos caules de bambus que serão utilizados na construção.

É necessário ainda determinar a seleção das espécies mais adequadas que possa permitir um planejamento econômico da compra e / ou colheita dos caules do bambu a usar nas estruturas. [34]

Após essa determinação de espécies e características buscada no projeto, o bambu é usado na fabricação de diversos elementos com maior ou menor grau de processamento: em paredes simples ou compostas, nos telhados, em esquadrias e em pisos. Nas construções, o bambu pode ser usado para diversas finalidades, tais como: [37]

- Reforço de Fundações;
- Colunas;
- Treliças e Vigas;
- Paredes;
- Estruturas de coberturas;
- Telhas;
- Escadas;
- Elementos decorativos;
- Componentes laminados.

O bambu possui oscilação na espessura da parede e na distância entre os nós. Essa variação afeta os valores finais de resistência, mas esses valores não afetam a segurança do projeto, pois o valor do fator de segurança específico usado no cálculo da estrutura de bambu corresponde a um fator de cerca de 4. Isto significa, que a carga para a qual a construção foi projetada (valor limite) é quatro vezes o valor corrente de cargas reais que o projeto irá enfrentar. Este número é considerado muito alto para projetistas de betão armado ou estruturas metálicas, pois o fator de segurança para projetos com esses materiais é de 1,5. [46]

Visto que não existe atualmente no Brasil uma norma técnica para o uso do bambu nas estruturas, é fundamental assegurar a segurança dos utilizadores para posteriormente não ter problemas. Convém também notar que o trabalho com bambu requer monitoramento anual para ver como a construção se comporta ao longo do seu tempo de utilização.

Se houver algum problema, é necessário proceder a trabalhos de reparação e manutenção corrente preventiva e curativa. Isso pode variar em ações variadas, desde a aplicação de uma nova camada de impermeabilizante até o combate a rachaduras e a substituição de peças. Este é outro detalhe que requer atenção. Em construções bem projetadas, essa substituição é feita sem grandes dificuldades e, em geral, se houver necessidade de substituição de um componente, não é necessária a desmontagem completa, intervindo-se apenas na peça “danificada”, colocando um suporte provisório apoiado em pontos próximos e a posterior troca da peça. [46]

6.2 FUNDAÇÕES

As estruturas devem estar a todo momento apoiadas em fundações adequadas, anteriormente determinadas e corretamente dimensionadas por engenheiros especialistas. A qualidade das estruturas de bambu na construção civil está totalmente ligada à utilização de técnicas construtivas específicas deste material.

Algumas são simples, mas indispensáveis, como por exemplo o bambu deve ser mantido sempre afastado do solo para evitar o contato direto das peças com a umidade do solo, que pode causar o aparecimento de fungos, aumentar a umidade interna e diminuir a resistência do material. [48]

Dessa forma, são utilizados blocos de betão, radier, vigas baldrames, madeira durável, sapatas de betão, pedra ou outros materiais que não permitem o contato direto do bambu com o solo, garantindo assim uma folga mínima, em relação ao terreno, superior a 10 cm. Uma margem de segurança testada seria em torno de 50 cm de altura, e diferentes tipos de suportes poderiam ser usados, tal como uma base de betão como já citado anteriormente. [34]

Também existe a opção de impermeabilizar os elementos ou o caule de bambu, mas essas técnicas fazem mais sentido quando conseguimos manter uma distância mínima ao solo. A utilização do bambu em contacto direto com o solo só é recomendada para construções rurais que não durem muito e que não suportem cargas muito pesadas. A seguir veremos as principais fundações executadas em construções com estruturas em bambu. [46]

6.2.1. Fundações isoladas

Esse tipo de fundação é indicado quando se buscar realizar construções leves e rápidas com bambu. Quando o solo do local é duro demais para realizar a escavação da sapata corrida. Isto ocorre quando:

- é identificado um superdimensionamento da fundação, o que resultaria no aumento do custo da construção;

- o solo onde está construído o edifício é muito úmido, por exemplo em áreas de manguezais, o que representa um risco de deterioração de estruturas de bambu. [49]

Uma forma de contornar a esses obstáculos na execução da fundação é através de fundações isoladas já que, desta forma, a área de construção é bem menor se comparada a uma sapata corrida.

Os pilares apoiam-se nas fundações, que juntas suportam o peso de toda a estrutura e transmitem as cargas ao solo. Para ser eficiente e seguro, deve haver uma boa conexão entre os dois (pilares de bambu e fundações), para resistir às diferentes forças que podem afetar a construção.

Para uma fixação mais eficiente e segura entre a coluna (bambu) e a fundação, recomenda-se o uso de uma haste de aço estrutural ancorada no mínimo 50 cm no bloco de betão e que penetra no mínimo 40 cm no interior da coluna, que em seguida é enchida com argamassa ou betão, na zona da ligação. Para encher os caules com betão, deve ser feito um furo com a serra copo ao nível da extremidade superior do colmo no interior da coluna, com um diâmetro permita a Betonagem posterior. É também fundamental não esquecer de furar completamente os caules nesta área que receberá a Betonagem, ver Figura 6.1. [34]

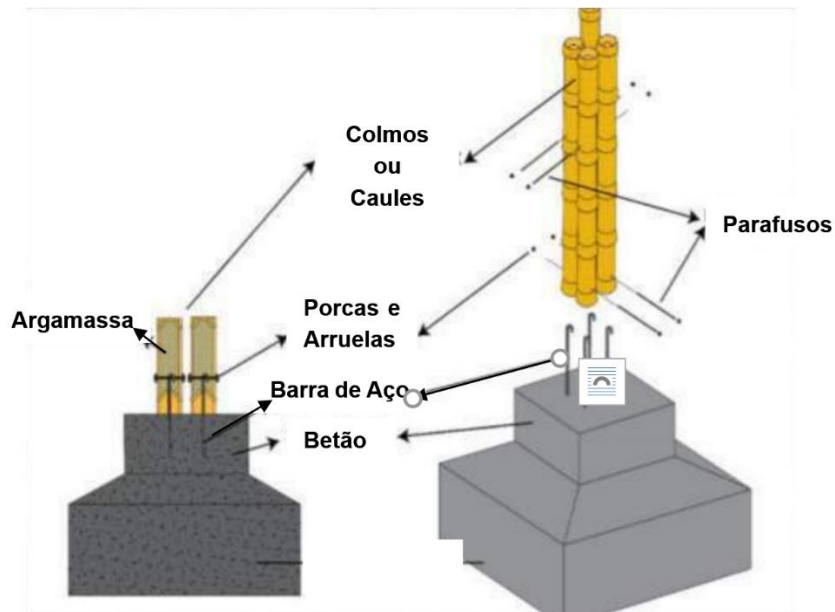


Fig. 6.1 Ligação da sapata isolada com os pilares [49]

Outra vantagem é quando associamos a sapata isolada com pavimento elevado. Assim permitimos um acesso livre, para a realização de uma inspeção periódica, com uma separação mínima com cerca de 60 cm do solo, como é visto na figura 6.2. [47]

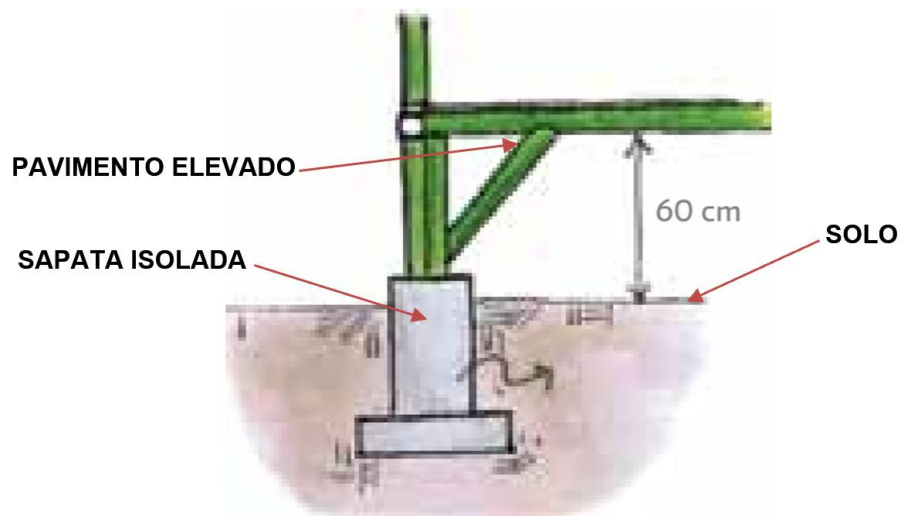


Fig. 6.2 Fundação isolada com pavimento elevado [48]

6.2.2. FUNDAÇÃO DE LAJE DE BETÃO INDEPENDENTE

Estas são fundações de perímetro sobre as quais as colunas repousam, ver figura 6.3. Nestes sistemas, devem ser deixadas juntas de dilatação com pelo menos 1,0 cm de largura entre os arranques dos pilares e o pavimento estrutural. As paredes devem se projetar pelo menos 20 cm acima do nível do solo externo. [48]

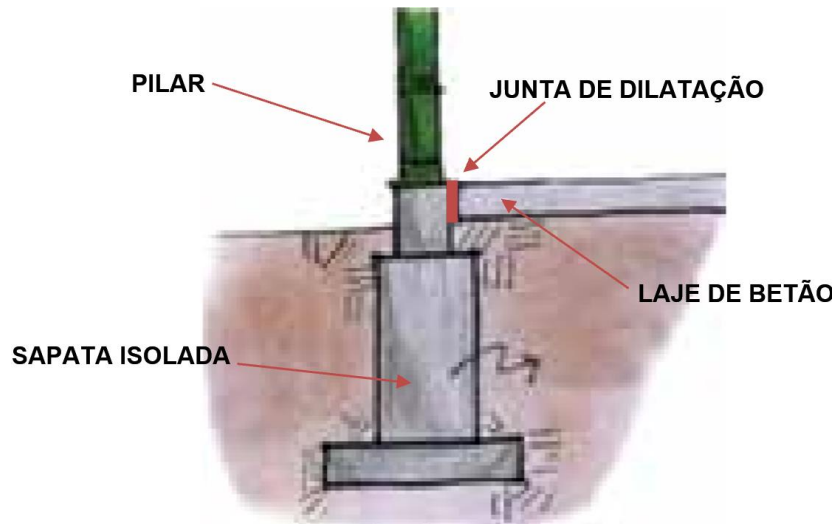


Fig. 6.3 Fundação isolada com laje de betão [48]

6.2.3. ALVENARIA DE BLOCO OCO

Estes tipos de fundações são executados com blocos de betão oco de 20 x 20 x 40 cm, apoiadas em uma base de betão armado e ligadas com uma barra de aço 10 mm a cada 20 cm, conforme representado na figura 6.4.

Os blocos ocos são preenchidos com betão aproximadamente a cada 3 m, engastando quatro barras de 10 mm que são ancoradas à base (ver Figura 6.4). Recomenda-se que a fundação seja completada com um vigamento de amarração (corrente) em betão armado com quatro barras de 10 mm e estribos a cada 15 cm. [48]

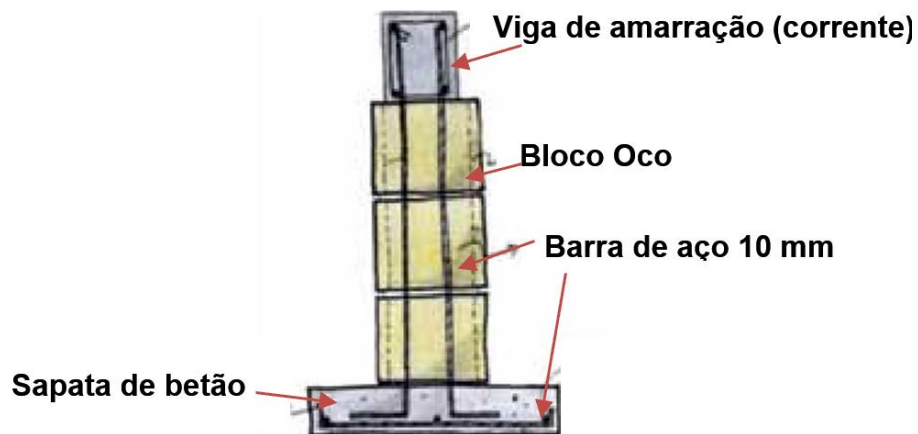


Fig. 6.4 Fundação com bloco oco [48]

6.2.4. ALVENARIA DE PEDRA BRUTA

É recomendável construir este tipo de fundação com as dimensões mínimas mostradas na figura 6.5. A ligação inclui furos para ancoragem da viga baldrame, reforçada com quatro varões de aço macio de 10 mm de diâmetro. A base da laje é apoiada sobre o solo, para o que se recomenda que a superfície superior seja bem nivelada.

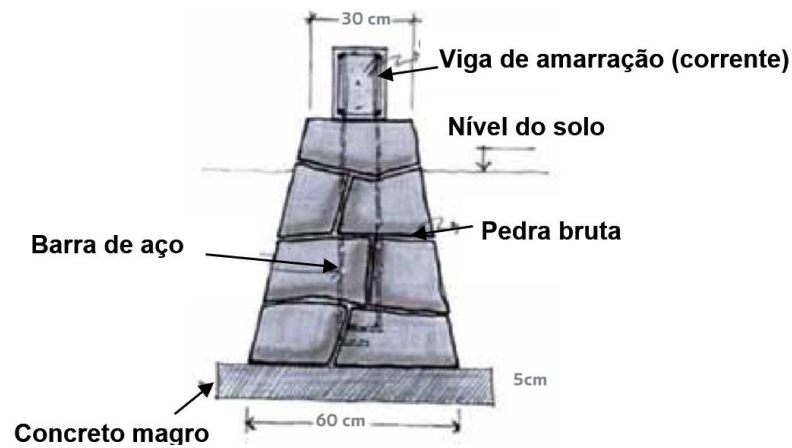


Fig. 6.5 Fundação em pedra [47]

6.2.5. FUNDAÇÕES INTEGRADAS NA LAJE DE BETÃO

Em terrenos com poucos desníveis, podemos adotar soluções de rápida execução, como o radier que é uma laje de betão (figura 6.6) ou sapatas corridas com radier (figura 6.7). O tempo de construção da fundação é reduzido, devido principalmente ao baixo volume de escavação.

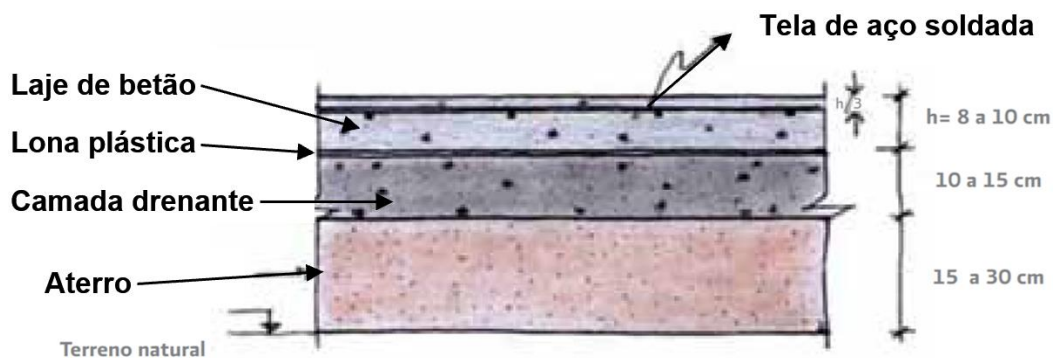


Fig. 6.6 Fundação radier [48]

Podemos apoiar a estrutura em uma laje de betão armado (radier), que é betonada habitualmente junto com as sapatas ou os arranques dos pilares. A preparação da base, as dimensões e as armaduras da laje devem obedecer ao identificado nas figuras 6.6 e 6.7.

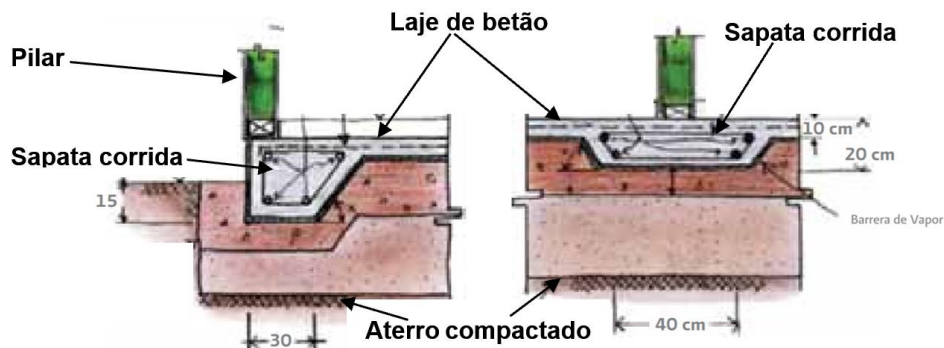


Fig. 6.7 Fundação sapata corrida com radier [48]

6.2.6 Processo de construção de fundações em betão armado

O processo de construção é semelhante para todas as soluções atrás descritas que envolvem betão armado e pode ser definido da seguinte forma:

- Limpeza do terreno;
- Camada de aterro e compactação do solo;
- Camada drenante de 10 a 15 cm, executada com cascalho;
- Aplicação de lona plástica sobre o solo para evitar a perda de betão;
- Execução de cofragem para betonagem;
- Betonagem da fundação e da laje.

6.3 PILARES

Em construções de bambu os pilares são formados normalmente por peças de bambu inteiras ou pela união de dois ou mais colmos, sendo que é a forma mais básica de se utilizar os bambus no seu estado natural.

As ligações dos caules à fundação podem ser realizadas de diferentes formas. Na maioria das vezes o caule é preenchido com betão, o que é feito através de uma abertura circular acima da conexão, como é visto na figura 6.8. [46]



Fig. 6.8 Preenchimento da ligação fundação/pilar [34]

Para uma ligação ideal entre o pilar e a fundação, uma barra de ferro deve ser inserida pelo menos 20 cm na fundação e 20 cm no pilar, como é mostrado a seguir na figura 6.9.

A aderência entre a barra de aço e o betão deve ser analisada. As conexões entre os colmos inteiros têm de ser o mais próximas possível dos nós para garantir maior rigidez e segurança nas conexões. [37][46]

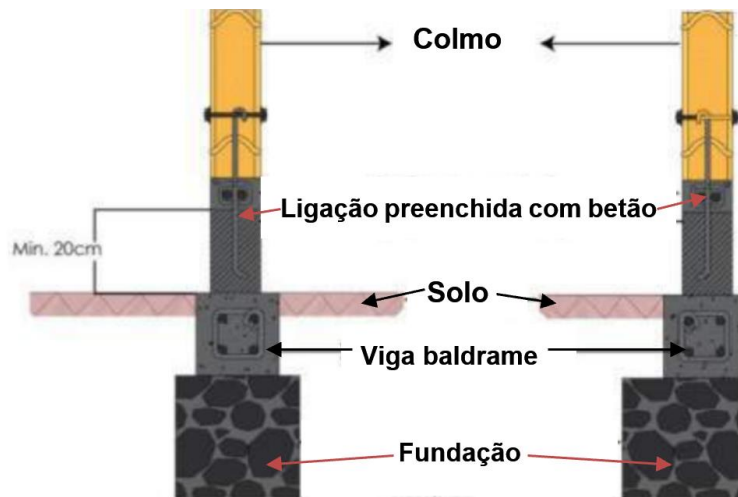


Fig. 6.9 Ligação fundação/pilar [49]

Um dos maiores problemas no projeto de estruturas de bambu é que o diâmetro do caule, a espessura da parede e o comprimento dos internódios diminuem gradualmente da base para a ponta das peças estruturais. Portanto, uma pré-seleção dos caules se torna necessária, buscando uma padronização, o que é fundamental para uma boa execução do projeto. [34]

Alguns pontos que devemos ter atenção no momento de executar ou projetar estruturas em bambu, incluem: [34]

- A resistência mecânica dos caules de bambu varia ao longo do comprimento e, se possível, devemos utilizar o terço médio dos caules que, por ser o trecho mais regular, devemos utilizar para obter uma construção com resistência mecânica mais uniforme; [34]
- Pilares que contenham mais de uma peça de bambu devem ser unidas com parafusos ou tiras, com espaçamento não superior a um terço da altura da coluna;
- A construção de pilares requer o seu apoio em bases, pedestais ou pilares de betão armado de diferentes alturas, dependendo do projecto;
- A altura dos pilares e a carga axial que suportam requerem a análise estrutural da sua esbelteza, para que não ocorrem possíveis flambagens. Um procedimento para reduzir a esbelteza das colunas é aumentar a sua largura, acrescentando dois ou mais colmos para evitar possíveis flambagens ou deformações.

6.4. PISOS

Os pisos de uma construção são a base sobre a qual ela é construída. Eles devem ter a capacidade de atuar como diafragmas para transmitir forças horizontais e verticais aos elementos verticais. Os sistemas de piso rés-do-chão, pavimento elevado e mezaninos devem ser projetados e construídos de forma que não ocorra deformação ou vibração excessiva.

6.4.1. PISOS APOIADOS NO SOLO

Para realizar pisos em bambu em contato direto com o solo são usadas tiras ou esteiras, ver figura 6.10. As tiras simples são feitas cortando o bambu inteiro em pedaços com um machado ou faca do tipo estrela. São construídos sobre terrenos compactados, buscando manter a superfície homogênea e sólida, sendo usadas apenas em construções vernaculares. [48]

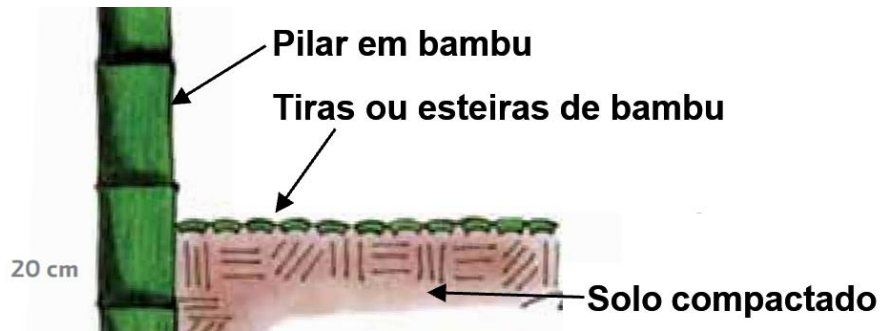


Fig. 6.10 Piso direto no solo [48]

6.4.2. PAVIMENTO COM PISO ELEVADO

São mais utilizados para construções em encostas íngremes ou para não construir fundações planas (radier) ou fundação contínua (sapata corrida), mas isoladas, reduzindo o uso de materiais e o custo da construção. Os pilares que sustentam toda a estrutura devem ser muito bem ancorados nas fundações isoladas. Este tipo de pavimento é constituído por um sistema de pilares, vigas, juntas e piso, todos em bambu, como é visto na figura 6.11. [48]

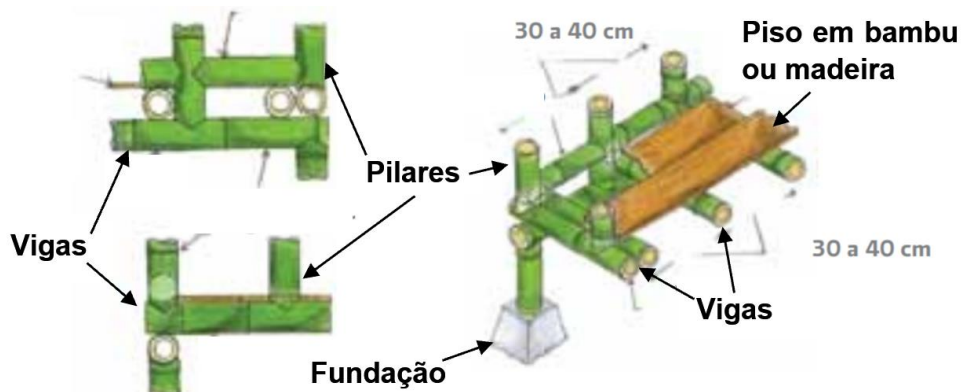


Fig. 6.11 Piso elevado com estrutura de bambu [48]

Existem também sistemas mistos que combinam madeira e bambu, como pode ser visto na figura 6.12. Recomenda-se elevar o piso 60 cm para ambos sistemas, para facilitar as inspeções regulares, a partir de baixo, para detectar possíveis infestações por fungos ou insetos entre outras possíveis anomalias associadas ao uso. [48]



Fig. 6.12 Piso elevado com estrutura mista [48]

6.4.3. PISO MISTO COM BETÃO LEVE

O piso pode ser feito em tiras de bambu, placas, esteiras ou colmos inteiros de pequeno diâmetro. A distância recomendada entre as vigas é de 40 cm e pode ser adicionada uma régua de madeira para facilitar a ligação entre o revestimento e as vigas. Sobre a estrutura de bambu pode ser aplicada uma camada de betão leve ou argamassa, reforçada com tela electrosoldada de aço ou tela galinheiro convencional, com o objetivo de deixar a construção mais estável e melhorar o seu conforto térmico nas estações mais frias. [48]

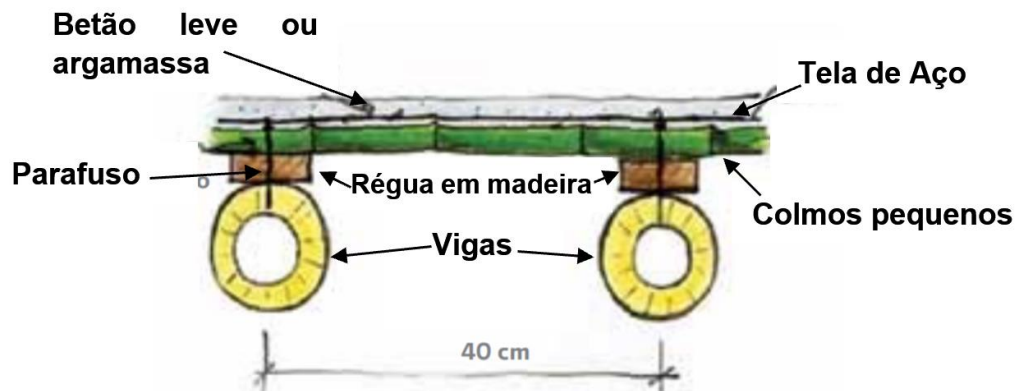


Fig. 6.13 Piso misto com betão leve [48]

6.5. VIGAS

As vigas de estruturas em bambu são compostas habitualmente por colmos inteiros ou pela união de dois ou mais colmos, sendo que é o jeito mais básico de se utilizarem os bambus no seu estado natural. No entanto, existem vigas produzidas com o bambu laminado colado “BaLC”, mais eficientes e com melhor desempenho mecânico, embora esse tipo de vigas ainda não seja comum na construção no Brasil.

No caso de vigas simples ou compostas por um colmo ou por uma união de vários colmos, devem ser projetadas por especialistas de estruturas, seguindo alguns critérios das normas sul-americanas como a NSR-10 da Colômbia, NEC – SE – GUADÚA do Equador e NTE E100 do Peru: [50] [51] [52]

- Vigas compostas por mais de um colmo devem ser unidas por cintas, tarugos de madeira, ou parafusos com espaçamento mínimo de um quarto do comprimento da viga (figura 6.14);
- Para a união dos colmos, as uniões devem ser alternadas para que se sobreponham;
- As uniões não devem coincidir com aquelas entre nós do colmo;
- Deve-se considerar que os parafusos terão 10mm e estarão localizados a 3mm dos nós;
- As pontas dos colmos que ficam expostas devem ser preenchidas com argamassa, de forma a evitar a passagem de insetos e animais que possam afetar os colmos.

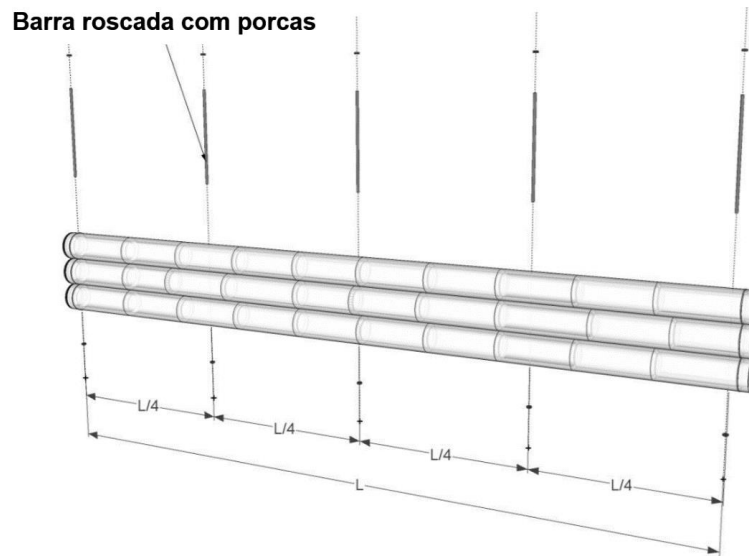


Fig. 6.14 Viga composta [52]

6.6 PAREDES

As paredes exercem diversas e importantes funções nas construções, as externas protegem os edifícios das ações do tempo, enquanto as internas determinam os ambientes para definir os espaços para várias atividades dentro da construção. As construções devem ter um aspecto agradável e serem duradouras, contribuir de maneira eficiente para o meio ambiente buscando utilizar menos recursos para manter suas atividades, além de ter uma certa resistência ao fogo e isolamento acústico. [47]

Ambas as paredes externas e internas estão sofrendo ações de cargas externas que devem ser capazes de resistir e transferir para a fundação. Além disso, elas devem suportar o seu peso próprio e o peso dos sistemas de piso e das estruturas apoiadas sobre eles, bem como dos sistemas construtivos horizontais, como tectos e coberturas apoiados sobre eles, bem como as forças horizontais dos efeitos do vento ou de sismos. [47]

Os componentes de vedações verticais podem consistir em esteiras trançadas que são entrelaçadas ou amarradas em colmos inteiros, paredes de pau-a-pique onde a estrutura interior de reforço usa bambu, ou mesmo em Bahareque, onde o bambu é usado planificado, com as esteiras colocadas horizontalmente.

A estrutura principal também pode ser mista de madeira ou mesmo betão e aço, o que não impede a utilização do bambu. [37]

Para compor a estrutura das paredes, os pilares são cobertos por dentro e por fora com esteiras, tapetes, tábuas ou tiras que são colocadas horizontalmente, com o lado liso para dentro da construção. [47]

6.6.1. PAREDE DE BAJAREQUE

A parede bajareque é bastante usada em países da América do Sul, como Colômbia, Equador e Peru. No Brasil ela é conhecida como taipa de pilão. A estrutura feita com bambu deixa um espaço entre os pilares que pode ser preenchido com argila ou argila e palha ou outros materiais de enchimento. A estrutura pode ser preenchida para melhorar a inércia térmica, além de ser rebocada com cimento ou argamassa de argila. [37]

Na construção das paredes do bahareque, deve ser considerado que as tiras que formam uma esteira, pelo que o sistema funciona de forma análoga a uma parede de gesso cartonado, onde o colmo de bambu tem a função do montante, a régua de bambu ou madeira tem a função de guia e o tapete de bambu funciona como a placa. Após a planificação, o bambu fica com uma forma trapezoidal, uma extremidade mais larga do que a outra e, portanto, a “placa” deve ser colocada de tal forma que a extremidade mais estreita de um é colocada na extremidade mais larga da próxima e vice-versa. [47]

Da mesma forma, deve-se ter cuidado para que as esteiras mais grossas sejam colocadas nas extremidades mais finas ou menores dos pilares de bambu, e as mais finas na extremidade de maior diâmetro, a fim de se obter um plano vertical mais regular, na superfície externa ou interna da parede (Figura 6.15). [47]

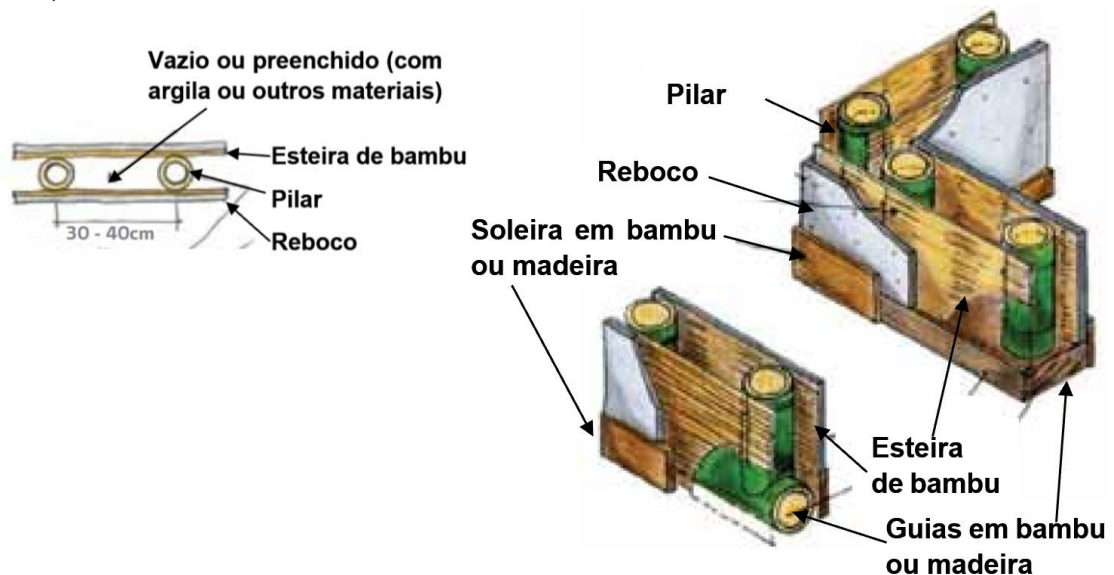


Fig. 6.15 Parede bahareque [48]

Se forem utilizadas esteiras muito finas e flexíveis, é importante levar em consideração que os pilaretes da estrutura devem ser colocados a uma distância menor, a cada 30 cm, caso contrário, qualquer pressão que seja feita na parede depois de coberta, causa a rachadura do reboco.[47]

6.6.2. PAREDE PAU-A-PIQUE

No Brasil, a parede de pau-a-pique foi bastante utilizada em diversos tipos de construções até ao início do século XX. Atualmente continua sendo usada, mas apenas em construções vernaculares pelo interior do país. Chamada também de taipa de mão, é um método construtivo rústico que se baseia no entrelaçamento de caules de bambu ou madeira fixados ao solo, com ripas horizontais, geralmente de bambu, amarradas entre si por cordas feitas a partir da própria casca do bambu, o que dá origem a uma grande estrutura perfurada que, após preencher as aberturas com argila, se torna uma parede, como pode ser visto na figura 6.16. [47]

A estrutura deste tipo de parede é construída de forma semelhante à do bahareque, embora em vez dos tapetes sejam utilizadas tiras de bambu de 4 cm de largura, fixadas horizontalmente nos postes com o lado externo para dentro e com uma separação de 8 cm. entre as tiras, para facilitar o enchimento do seu interior com argila húmida previamente misturada com palha. [47]

À medida que o seu interior vai sendo preenchido, a argila é prensada até que fique nivelada com a parte externa das tiras. Depois de preenchida a parede, deixa-se secar por um mês ou mais. Em construções vernaculares eram aplicadas duas camadas de terra e esterco de maneira semelhante à que se aplica na cobertura nas paredes de bajareque enquanto que, nas construções mais modernas, é usado reboco tradicional. Se forem utilizadas tiras muito finas, o espaçamento dos pilaretes não deve ser superior a 30 cm. [47]

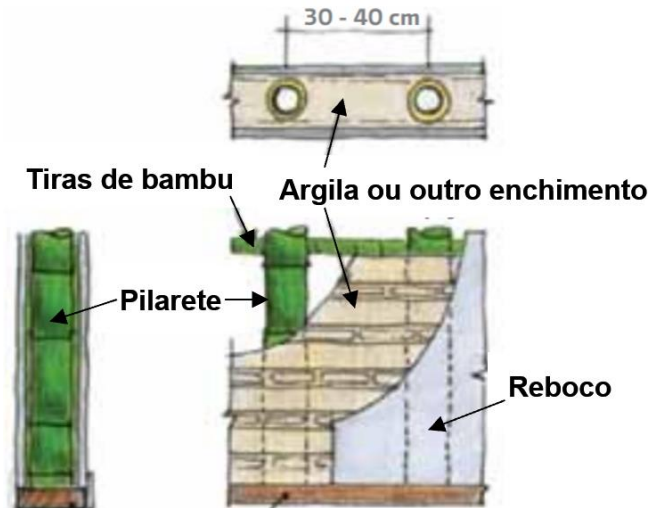


Fig. 6.16 Parede de pau-a-pique [48]

Na construção de paredes de pau-a-pique, as seguintes considerações devem ser levadas em consideração: as faixas podem ser colocadas dentro e fora na mesma altura ou alternadas; Nos cantos ou cruzamentos das paredes, as tiras devem ser colocadas em alturas diferentes para que as suas extremidades se cruzem, conforme mostrado na figura 6.17.

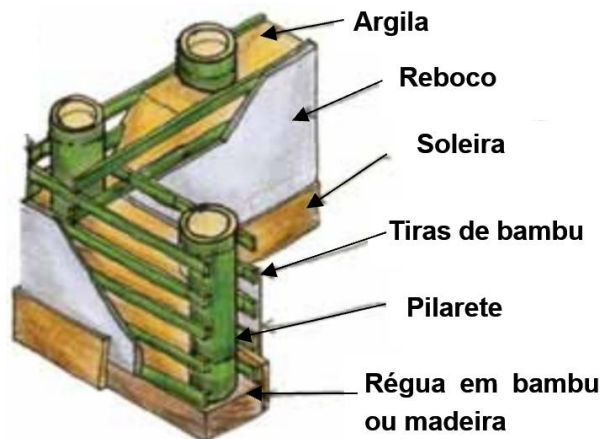


Fig. 6.17 Encontro de paredes de pau-a-pique [48]

6.6.3. PAREDE DE QUINCHA

As paredes de quinha são bastante usadas no Peru na construção de residências de baixo custo. Com este sistema conseguem-se paredes finas e resistentes que expõem a estrutura de bambu, formada por pilares, vigas, pilaretes e guias, oferecendo um aspecto muito agradável à casa. Dois métodos diferentes são usados para fazê-los, dependendo da direção em que as tiras são entrelaçadas umas com as outras.

No primeiro método, as tiras são entrelaçadas verticalmente entre suportes horizontais de bambu previamente fixados aos pilares ou pilaretes com espaçamento uniforme entre eles que pode variar entre 50 e 70 cm, como pode ser visto na figura 6.18 - Esquerda.

No segundo método, as tiras de bambu são entrelaçadas horizontalmente entre suportes verticais previamente fixados nas guias inferior e superior, com distância semelhante à indicada no primeiro método (Figura 6.18 - Direita). Para a construção da estrutura, utilizam-se tiras obtidas de bambus de 2 ou 3 anos de idade, suficientemente flexíveis para que não se rompam ao serem entrelaçados.

No caso de utilização de tiras muito finas e flexíveis, a separação entre os pilaretes deve ser reduzida. Para o revestimento das paredes, utilizam-se 2 ou 3 camadas de argila, adobe ou argamassa, sendo esta última a mais indicada. A primeira camada de argamassa de cimento deve ser aplicada com força para que penetre entre as camadas e se consiga a união entre a argamassa de um lado e do outro.

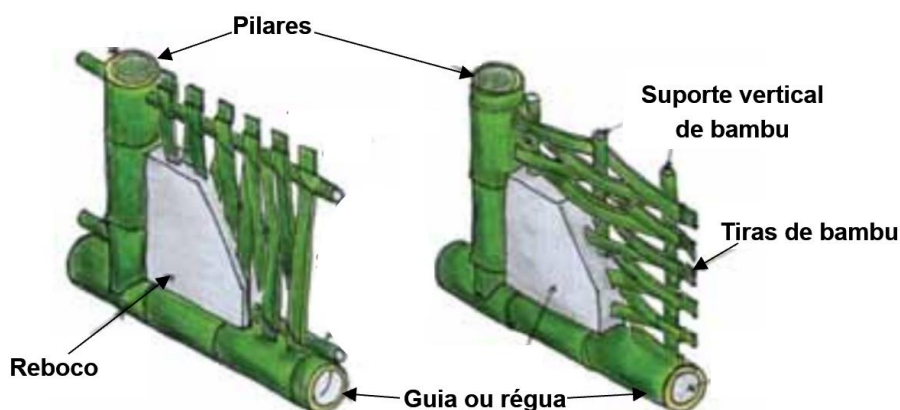


Fig. 6.18 Paredes de quinha [48]

6.7. COBERTURA

A utilização do bambu para a produção de coberturas apresenta inúmeras vantagens, entre as quais se destacam a beleza estrutural, a segurança quanto à resistência dos materiais, a leveza e facilidade de manuseio das peças, a rapidez e facilidade de trabalho, a minimização do risco de acidentes, bem como a quantidade mínima de resíduos descartáveis relevantes para a execução da obra. [34]

Nos telhados, o bambu ainda pode ser usado na forma de telhas, subtelhas (esteiras, tapetes de bambu) ou acabamentos de forros de alta qualidade. Muitos usos podem ser associados a esta forma, desde a substituição das telhas por placas de bambu (que precisam de tratamento superficial) ou até mesmo o próprio bambu inteiro que compõe a estrutura. [37]

6.7.1 ESTRUTURA DE COBERTURA

Além de sua função de segurança estática e boa aparência, os telhados ou coberturas também oferecem proteção contra intempéries. É uma das partes da construção que apresenta maiores dificuldades de planejamento e construção. Cargas vivas (pessoas, animais) e acidentais (ação do vento) devem ser consideradas para o seu projeto.

Um bom projeto estrutural também deve ser fornecido entre o telhado e as paredes ou pilares, de modo que todo o peso do telhado seja transferido para a fundação e o telhado seja bem ancorado aos sistemas intermediários (paredes e postes) para suportar as ações dos ventos ou forças de terremoto.

A cobertura de bambu é um sistema estrutural constituído por asnas, madres, e / ou treliças que suportam varas, espaçadas entre 40 e 60 cm (como é visto na figura 6.19), e se necessário, essas separações são moduladas com as dimensões de materiais industrializados como chapas ou tábuas de madeira. As madres ou treliças principais podem ser ancoradas aos pilares e paredes, para resistir às forças do vento ou de algum terremoto.

Algumas coberturas podem apresentar também pendural ripado, contra-ripado, tábua de barbate e frechal. Essa estrutura possui a função de apoiar um revestimento de cobertura final, que pode ser constituído por diversos materiais, como bambu, folhas, telha ou malha de aço com betão ou argamassa.

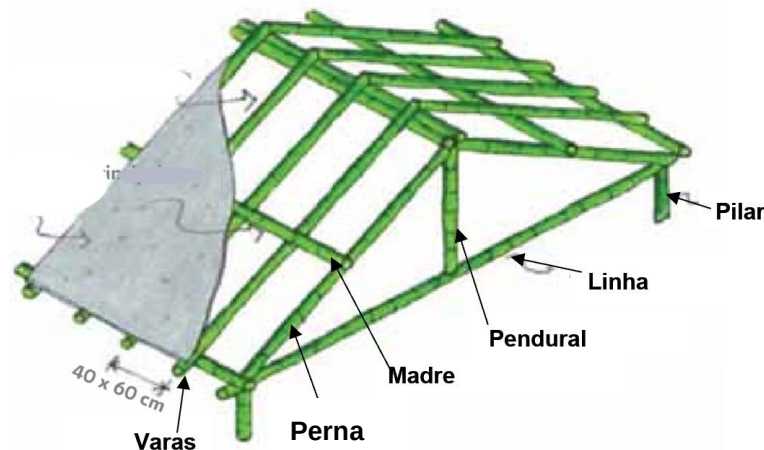


Fig. 6.19 Estrutura de cobertura [48]

6.7.2 REVESTIMENTOS DE COBERTURAS

São os materiais que protegem o interior da edificação e a estrutura da cobertura, podendo ser usado bambu, madeira, chapas metálicas ou fibrocimento, argila ou telhas asfálticas. Alguns exemplos são descritos a seguir.

6.7.2.1 TELHA CANUDO (TELHA ÁRABE)

A cobertura consiste em pedaços de bambu cortados ao meio no sentido do comprimento e os diafragmas são removidos. Os colmos têm de ter um diâmetro de 80 mm ou mais de preferência. Eles são colocados no cume até o final do telhado (figura 6.20).

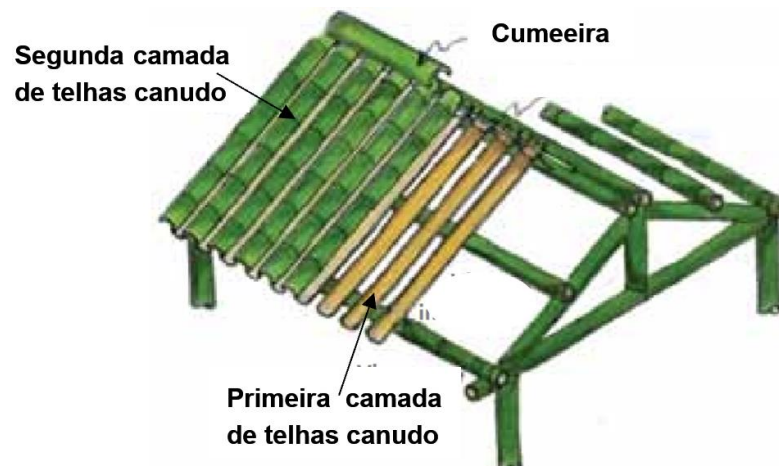


Fig. 6.20 Telhado com telhas do tipo "Canudo" [48]

A primeira camada é colocada reta e junto com os bambus, com o lado de dentro para cima. A segunda camada é virada de cabeça para baixo, com o lado oco para cima, entre duas para baixo. Entre duas telhas de bambu da primeira camada (figura 6.21), cada telha é fixada ou pregada na estrutura da cobertura. O peso médio total desta cobertura é de 20 kg por m², dependendo da espécie adotada. [48]

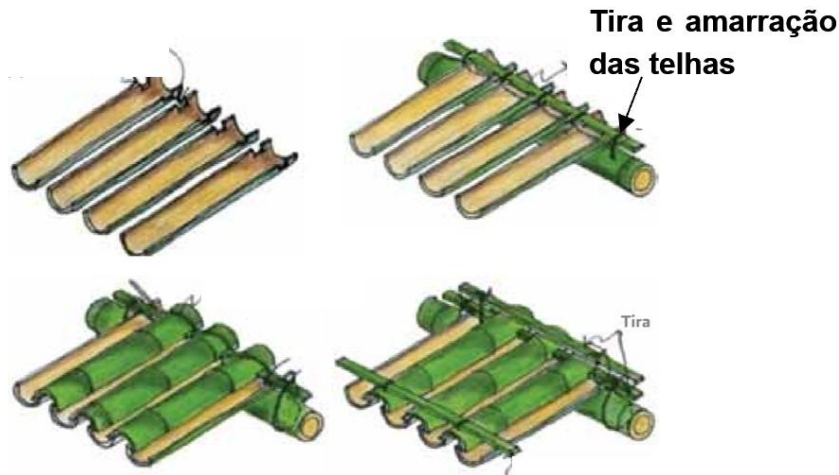


Fig. 6.21 Pormenor da montagem do telhado com telhas “Canudo” [48]

6.7.2.2. TELHA DE BAMBU (ESCAMA DE PEIXE)

Este tipo de revestimento é montado com telhas planas feitas dos colmos de bambu, com diâmetros de 40 a 60 mm. Cada peça de telha é cortada como uma língua (trava) que serve como elemento de fixação, como é visto na figura 6.22, e as telhas podem ter acabamento na extremidade do tipo reto ou triangular. [48]

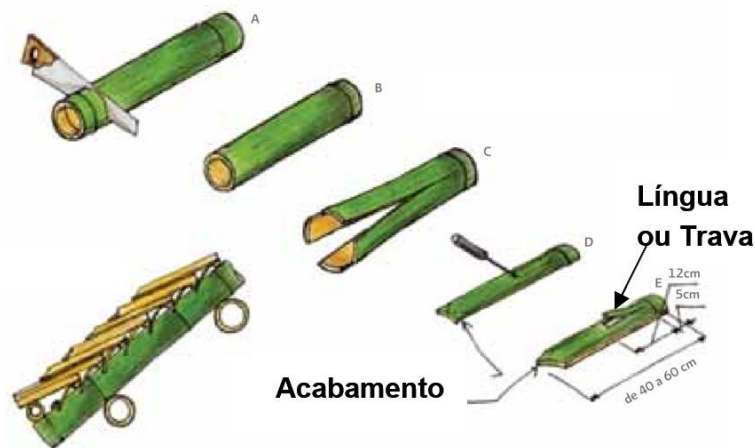


Fig. 6.22 Processo de fabricação das telhas [48]

As telhas são colocadas como mostrado na figura 6.23, fixadas com pregos para evitar que se soltem com o vento. Para um teto impermeável, são recomendadas três camadas de telhas. O peso médio total desta cobertura é de cerca de 20 kg a 25 kg por m². Após a montagem o telhado fica com um aspecto de escama de peixe. [48]

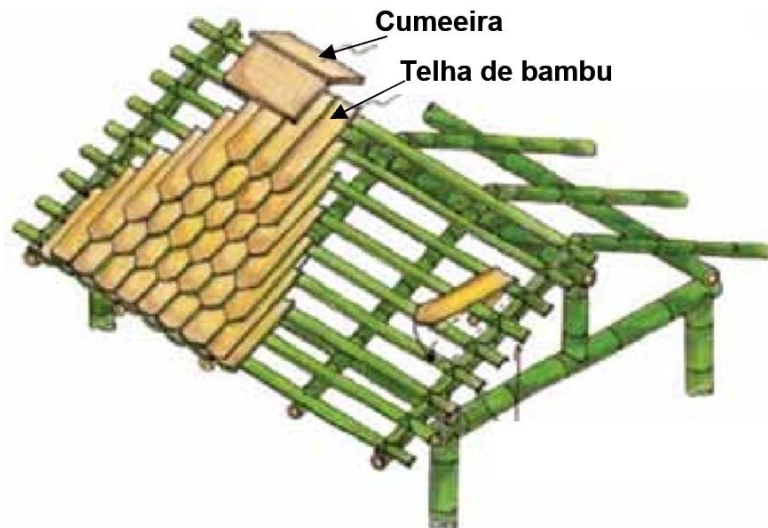


Fig. 6.23 Montagem do telhado com telhas tipo “escama de peixe” [48]

É recomendável tomar precauções para aumentar a vida útil das coberturas de bambu, pois sua durabilidade é ruim devido à baixa resistência à exposição às intempéries ou ao risco de incêndio, mesmo que seja aplicado um tratamento conservante e sua vida útil média é baixa de cerca de dois anos.

6.7.2.3. FERROCIMENTO

Este tipo de revestimento é simples, tem boa resistência ao fogo e é uma técnica dominada pelos trabalhadores da construção civil, porque sua montagem se parece com a das lajes maciças. Consiste em uma fina camada de argamassa reforçada com vergalhão, malha electrosoldada ou arame de galinheiro.

A argamassa pode ser uma mistura de areia, cimento e cal hidratada ou apenas cimento e areia. Sobre a malha electrosoldada, a tela de galinheiro é esticada e presa com arame aos parafusos ou pregos e ambos são fixados juntos. Várias camadas de argamassa são aplicadas no topo da malha. Este é um material frágil, quebradiço e suscetível a rachaduras, quando exposto a variações de temperatura e umidade e por isso requer uma base rígida e resistente, com juntas devidamente distribuídas para absorver os movimentos de contração-expansão da laje e reduzir possíveis rachaduras.

Em geral, recomenda-se uma camada de nivelamento de dois centímetros de espessura. Uma vez endurecida, uma ou mais camadas finas são aplicadas para engrossá-la e cobrir quaisquer rachaduras que possam ter aparecido na camada base. Diretamente sobre esta base, é recomendado aplicar uma camada de impermeabilização e sobre esta o acabamento final, que pode ser uma telha ou outro material similar. A seguir podemos ver na figura 6.24 a estrutura da cobertura do tipo ferrocimento.

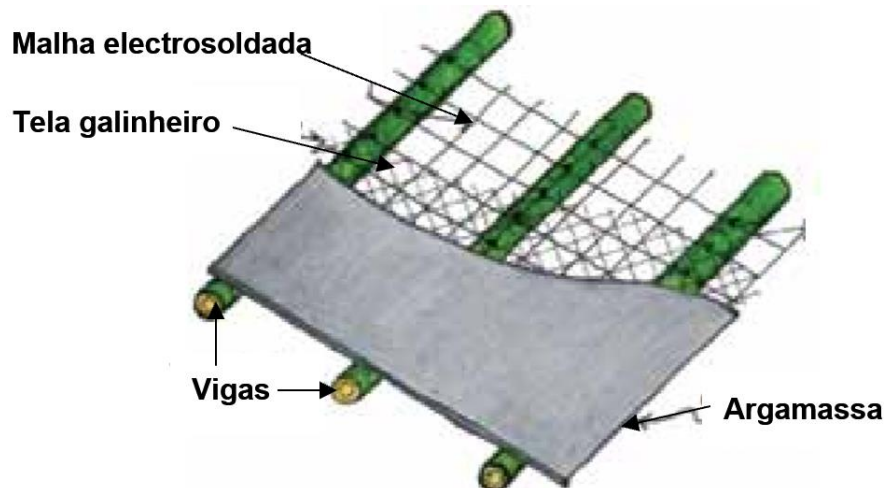


Fig. 6.24 Cobertura do tipo "Ferrocimento" [48]

6.7.2.4. TRELIÇAS

As treliças são elementos estruturais usados principalmente em coberturas e são constituídas por pequenos elementos unidos por placas de metal, tábuas de madeira ou cortes de meia madeira fixados com conectores de metal.

A utilização de treliças pré-fabricadas reduz o custo da obra no local, bem como o tempo de construção. Pode-se ter um espaço coberto desde o início da obra, o que permite agilizar os trabalhos de acabamento e instalações protegidas das intempéries e a sua instalação não requer equipamentos pesados.

Algumas das desvantagens que apresentam é a impossibilidade de aproveitar o espaço entre a cobertura e a linha inferior, ocupado pelos membros dos montantes e diagonais, que só permitem a fixação das instalações.

Em regiões onde o bambu é um material comum para construção (figura 6.25), costuma-se usar treliças feitas empiricamente, com mais bambu do que o necessário e, em alguns casos, não são estruturalmente estáveis.

As treliças são geralmente construídas em aço ou madeira e podem ser calculadas com a ajuda de livros ou regulamentos de construção. Ao contrário, no caso do bambu, os projetistas projetam e constroem empiricamente suas próprias treliças, pois não há informações técnicas disponíveis para apoiá-las. Para projetar e construir treliças de bambu, é fundamental assim ter conhecimento de projeto estrutural. Os colmos usados na construção dessas treliças possuem diâmetro de 80 -100 mm. A seguir podemos ver dois exemplos de treliças na figura 6.24.

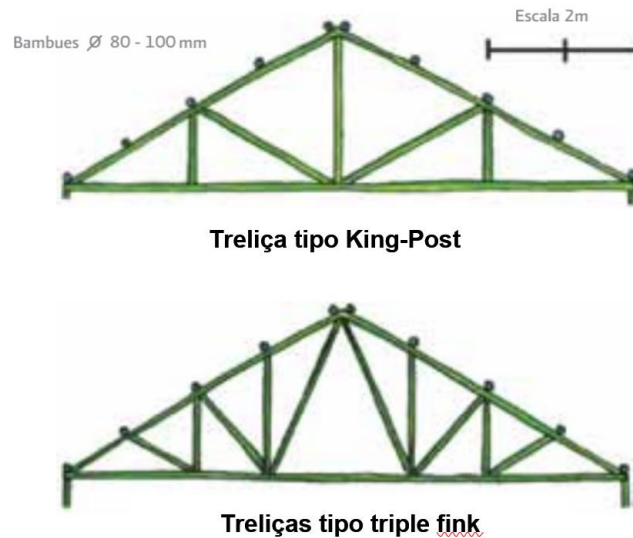


Fig. 6.25 Treliças em bambu [48]

Durante a construção de coberturas treliçadas, é necessário um sistema de contraventamento provisório, que mantém as treliças na posição correta. Isso não será necessário, uma vez que uma tampa seja instalada para atuar como um diafragma.

Se o telhado não constituir um diafragma como nos telhados de chapa ou material semelhante, deve ser previsto um reforço permanente para que este possa suportar as cargas verticais e os movimentos laterais do vento e dos terremotos.

Alguns pontos importantes para projetar coberturas com estrutura em bambu e que devemos levar em consideração, incluem:

- Nos beirais ou balanços, é aconselhável construir telhados com telhas ou beirados maiores para proteger a estrutura de bambu da chuva;
- Tanto as extremidades das vigas quanto os tetos de reforço leve devem ser ancorados nas régua (guias) das paredes para que possam suportar os movimentos do vento e outros fatores que possam surgir;
- São utilizados reforços leves com espaçamentos de 40, 60, 80 e 120 cm, sendo o espaçamento mais frequente de 60 cm; o de 120 cm é usado em alguns casos especiais;
- As inclinações podem variar de 25 a 70%.

7

USOS MODERNOS DO BAMBU E SEUS DERIVADOS NA CONSTRUÇÃO NO BRASIL

7.1 INTRODUÇÃO

O bambu é um material que é usado há milênios pelos humanos, possuindo diversos usos dentro da engenharia: desde construções complexas até vedações simples, uso na forma natural ou processada. Conforme demonstrado nos capítulos anteriores, graças às suas propriedades, são imensas as alternativas de utilização do bambu na engenharia, tanto em forma de colmos, como em tiras ou esteiras, como também em laminados e outros derivados.

Nesse capítulo apresentam-se as principais orientações para projetos e execução de estruturas em bambu, bem como alguns exemplos de soluções recentes mais representativas, em alguns Estados do Brasil. Estas orientações foram tiradas das principais Normas para construção em bambu da América do Sul. Apresentam-se também a título de exemplo as algumas recomendações para ligações, conexões e corte em bambu, segundo as principais normas Sul-americana.

Como atrás se refere, neste capítulo descrevem-se algumas construções recentes em bambu no Brasil, onde é possível observar algumas possibilidades para sistemas construtivos, e uso geral na engenharia. Salientam-se também as possibilidades de formas e soluções arquitetônicas muito originais e disruptivas que valorizam o trabalho de arquitetos, engenheiros, designers, construtores e artesãos.

No Brasil, o uso do bambu como material de construção ainda está na fase inicial e existem poucas aplicações econômicas que são utilizadas de facto com carácter regular na sociedade. Verifica-se no entanto que atualmente alguns arquitetos e engenheiros estão trabalhando juntos para expandir a cadeia de produção no país e para garantir uma produção maior e mais eficiente do bambu brasileiro.

As normas analisadas neste capítulo foram selecionadas seguindo os seguintes critérios: Serem de países sul-americanos; terem sido atualizadas ou produzidas recentemente; apresentarem informações e conceitos aplicados (pormenores tipo) ou de cálculo relevantes e aplicáveis de imediato; terem boa qualidade e organização.

Foi possível observar que muitas normas se baseiam umas nas outras, o que torna lê-las um tanto repetitivo, verificando-se que a principal diferença entre elas se refere às características específicas da construção local, em cada país emissor. Diversas recomendações para projeto, execução e conexão se encontram presentes em todas.

7.2 ORIENTAÇÕES PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BAMBU - PESQUISA DE NORMAS NA AMÉRICA DO SUL.

7.2.1 INTRODUÇÃO

A seleção de normas seguiu os critérios antes descritos, incluindo obviamente as duas normas brasileiras recentemente emitidas sobre bambu, a NBR 16828.1/2020 [53] e a NBR 16828.2/2020 [54]. Embora seja geralmente considerado na América do Sul que o país mais desenvolvido no domínio, tanto a nível arquitetônico como estrutural, é a Colômbia, as normas mais interessantes que foi possível encontrar são a norma equatoriana [51] e a norma peruana [52].

Considerado o contributo fundamental da Colômbia, não faria sentido não incluir a sua principal norma aplicável ao bambu, a [50].

Nos próximos sub-capítulos apresentam-se essas 5 normas, organizadas segundo uma lógica que privilegiou a identificação de alguns pormenores e regras construtivas, considerados mais representativos e significativos.

7.2.2 NORMAS BRASILEIRAS

No Brasil, o bambu só atraiu atenção dos governantes recentemente. Apenas em 2011, foi implementada a Lei do Bambu (Lei nº 12.484 / 2011), que criou a Política Nacional de Incentivos ao Manejo e Cultivo Sustentável do Bambu (PNMCB), visando promover o uso, manejo e cultivo sustentável de espécies. Esta lei possui as seguintes principais diretrizes: [62]

- Reconhecimento do bambu como um produto cultural agro-silvo-cultural capacitado de atender às exigências ecológicas, econômicas, sociais e culturais;
- Regras gerais relacionadas com o desenvolvimento tecnológico e o manejo sustentável, a produção e as utilizações do bambu, em construção mas também em muitas outras aplicações;
- O desenvolvimento de centros regionais de manejo sustentável, de produção e de melhoramento do bambu no Brasil, principalmente nas regiões que possuem as áreas de bambuzais nativos e em regiões cuja produção agrícola se baseia na agricultura familiar, tendo como objetivo um maior desenvolvimento socioeconômico da região.

As normas técnicas para regulamentar a utilização dos bambus na construção civil brasileira só começaram a ser discutidas e elaboradas em 2017 e entraram em vigor apenas em dezembro de 2020. No entanto o bambu já é usado atualmente em diversas obras de referência no Brasil, como mais à frente se apresenta no sub-capítulo 7.4.

As normas brasileiras são relativamente pouco desenvolvidas e baseiam-se nas outras normas sul-americanas descritas neste trabalho, e não trazem novos resultados, valores, procedimentos ou técnicas, especificamente aplicáveis ao Brasil ou aos bambus disponíveis no Brasil.

A NBR 16828-1 de 12/2020 – Estruturas de bambu – Parte 1: Projeto [53] define exigências e valores mínimos para o projeto de estruturas realizados com caules de bambu e trata das propriedades físicas e mecânicas, usabilidade e durabilidade das estruturas de bambu. Não se aplica a estruturas feitas com peças laminadas de bambu, nem a estruturas nas quais o bambu seja parte de materiais aglomerados, e

não contém exigências para evitar estados limites gerados por diversas causas, como terremotos, impactos e explosões. [53]

A NBR 16828-2 de 12/2020 – Estruturas de bambu – Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu [54], define procedimentos de teste para determinar as propriedades físicas e mecânicas do caule ou parte dele, a fim de servir de base para o projeto de estruturas de bambu. Os valores encontrados nos testes podem ser utilizados para determinar a relação entre as características mecânicas e os elementos específicos a usar nas estruturas, tais como: teor de umidade, massa volumétrica, localização de crescimento, posição ao longo do caule, presença de nós e entrenós, etc.

A referida norma também faz referência aos procedimentos de teste para avaliar: as características físicas do bambu; o teor de umidade, massa volumétrica, encolhimento; as características mecânicas, tais como resistência à compressão, resistência à flexão, resistência ao cisalhamento e resistência à tração. [54]

7.2.3. NORMA EQUATORIANA [51]

Esta norma refere-se fundamentalmente à espécie *Guadua* e apresenta diversas recomendações muito úteis para os diversos intervenientes da construção. Selecionaram-se algumas dessas recomendações mais importantes, que de seguida se apresentam, sendo que no sub-capítulo 7.3 se apresentam alguns pormenores construtivos desenhados mais ilustrativos do prescrito na norma.

No intuito de assegurar o funcionamento adequado e aumentar a longevidade das construções de bambu, é necessário considerar algumas orientações. A estrutura tem de ser construída por trabalhadores qualificados e sob o acompanhamento de um profissional especializado que esteja familiarizado com as orientações das normas relevantes e os princípios de construção com bambu. Os insumos e produtos utilizados na construção devem ser usados em conformidade com a norma e as orientações de utilização do produtor. [51]

Construções de bambu *Guadua angustifolia* (Taquaruçu), por serem feitas de um produto com origem natural, requerem manutenção preventiva apropriada visando garantir que as peças usadas não sofram ataques de organismos xilófagos no decorrer de seu uso. A construção deve servir ao mesmo propósito para o qual foi projetada ao longo de sua vida. [51]

O projeto deve evitar que os componentes do *Guadua* (Taquaruçu) fiquem diretamente expostos às condições do tempo no local (incluindo chuva, raios solares, salinidade). O uso de um revestimento dos componentes com substâncias repelentes à água ou superfícies impermeáveis deve ser considerado.

A ventilação deve ser fornecida dentro das construções para evitar condensação. Em espaços onde os componentes são expostos ao vapor além da ventilação, por exemplo em casas de banho e cozinhas, estas devem ser protegidas com materiais impermeáveis. O *Guadua* nunca devem ser usado em construções que atinjam temperaturas acima de 65 ° C. [51]

Os pilares em construções de bambu podem consistir em um caule ou na junção de duas ou mais peças de bambu que são verticais com as bases apontando para baixo. Os pilares que consistem em mais de um pedaço de bambu devem ser conectados com abraçadeiras ou parafusos, verificando-se que a distância entre ligadores não deve exceder um terço da altura do pilar. [51]

A altura dos pilares e a carga axial a suportar requerem um cálculo estático da esbeltez desses elementos, a fim de evitar uma possível flambagem desses elementos. Um método para diminuir a esbeltez dos pilares é aumentar sua seção transversal, juntando dois ou mais colmos para evitar possíveis flambagens.

A cobertura tem de ser leve, estanque e ter beiral que cubra as paredes da fachada em um ângulo entre 20 e 30 graus em relação à luz do sol, a fim de cobrir as superfícies de pelo menos metade da altura dos pilares de bambu contra os raios ultravioleta e chuvas. [51]

Os componentes estruturais da cobertura necessitam compor uma estrutura sólida para suportar as forças verticais e laterais, para os quais possuem os suportes e travas. É necessário suporte adicional para beirais com mais de 0,6 m, a menos que seja estruturalmente justificado. A parte superior deve ser nivelada com corda para que os componentes da cobertura fiquem completamente na mesma altura, levando em consideração a conicidade do bambu. [51]

7.2.4 NORMA PERUANA NTE E.100 [52]

Contrariamente ao caso da norma peruana, esta norma refere-se a todas as espécies de bambu presentes no Perú, tanto os autóctones como os provenientes de outros lugares, e apresenta diversas recomendações muito úteis para os diversos intervenientes da construção. Inclui inclusive, no seu Anexo G um projeto completo de um módulo em bambu com 4,28*5,78 m², incluindo pormenorização exhaustiva de arquitetura, estruturas e especialidades.

Selecionaram-se algumas das principais recomendações da norma, que de seguida se apresentam, sendo que no sub-capítulo 7.3 se apresentam alguns pormenores construtivos desenhados mais ilustrativos do prescrito nesta norma.

Os componentes da estrutura da cobertura têm de funcionar sincronizados, estáveis para as cargas verticais e laterais, e para isso devem possuir suportes e fixações quanto for preciso. As etapas de construção da cobertura devem seguir as normas técnicas determinadas. Para estruturas de bambu, os telhados precisam acompanhar as seguintes orientações: [52]

- O telhado tem de ser leve;
- Os elementos usados para o revestimento da cobertura têm que assegurar estanqueidade suficiente para proteger o bambu da umidade;
- Os componentes usados precisam proteger o bambu dos raios solares;
- Os beirais superiores a 60 cm, necessitam possuir suportes adequados, ou seja não devem ser executados em consola simples, a menos que tal seja estruturalmente justificado.
- Ao usar materiais que transferem umidade por ação capilar, como as telhas cerâmicas, recomenda-se impedir o contato direto com o bambu para evitar o seu deterioramento.

As instalações em estruturas de bambu precisam acompanhar as seguintes orientações: [52]

- As instalações de águas e esgoto não podem ser embutidas nos componentes estruturais.
- As instalações elétricas podem ser instaladas nas paredes da construção de bambu.
- Se forem necessárias perfurações, elas não podem ultrapassar 20% do diâmetro do colmo.
- Os cabos e fios elétricos precisam estar em eletrodutos flexíveis ou com alma de aço e ligados em tomadas metálicas ou outros materiais que não propaguem o fogo.

- As instalações elétricas não devem ser furadas ou paradas pelas peças de conexão dos componentes.

Todas as construções de bambu precisam passar por análises, ajustes e reparos durante sua vida. A manutenção do bambu precisa ser feita com materiais como tintas, impregnantes, cera, óleos, ou verniz e seguir as orientações abaixo: [52]

- Em elementos de bambu expostos às ações do clima, a revisão tem de ser feita no mínimo a cada 6 meses;
- Em elementos externos de bambu, protegidos dos efeitos das ações climáticas, a revisão deve ser realizada no mínimo a cada 1 ano;
- Em elementos estruturais feitos de bambu em ambientes internos, a revisão necessita de ser feita no mínimo a cada 2 anos;
- Os elementos que são deslocados devido ao encolhimento do bambu, vibrações ou outros motivos devem ser reajustados;
- Se houver fissuras, deformação excessiva, podridão ou infestação por insetos comedores de madeira (ou bambu), nos componentes estruturais, eles devem ser substituídos;
- Caso seja constatada a presença de insetos xilófagos, eles devem ser eliminados;
- Deve certificar-se que os mecanismos de ventilação fornecidos no projeto original estão funcionando corretamente;
- Deve evitar-se a umidade que pode levar à formação de fungos, atuando-se sobre as suas possíveis causas, tentando eliminá-las em definitivo;
- Sistemas especiais de proteção contra incêndio e instalações elétricas devem ser verificados;
- Partes de edifícios próximos a fontes de calor precisam ser feitas com materiais incombustíveis ou com materiais retardadores de fogo ou retardantes de fogo, isolados ou protegidos, e que garantam uma resistência mínima de 1 hora contra a propagação da chama;
- Elementos e componentes de bambu devem ser sobredimensionados para resistir à exposição ao fogo por um tempo adicional predeterminado;
- Devem verificar-se as conexões regularmente para substituí-las, reajustá-las ou reapertá-las se estiverem soltas.

7.2.5. NORMA COLOMBIANA NSR – 10 [50]

Tal como no caso da norma equatoriana, esta norma refere-se apenas à espécie *Guadua* e apresenta sobretudo recomendações e regras de cálculo de estruturas executadas com essa espécie de bambu.

Apresentam-se abaixo, a título de exemplo, alguns excertos de recomendações concretas presentes nesta norma.

A classificação de resistência dos bambus *Guaduas* (Taquaruçu) necessitam ser executada de acordo com a norma colombiana NTC 5525 quanto à capacidade de suportar aos esforços compressivos paralelos às fibras, flexão e tração, bem como o módulo de elasticidade. [50]

Para determinar o peso próprio das estruturas de bambu, uma massa específica de 800 kg / m³ é recomendada para a espécie *Guadua angustifolia*. Esta massa também pode ser calculada usando os

métodos da norma de classificação de resistência. A aquisição e comercialização de Guadua para fins estruturais devem obedecer às determinações e legislações dos órgãos responsáveis. [50]

Quando projetamos construções em Guadua temos de ter consciência que devemos projetar, construir e ligar os elementos de forma que possam suportar as cargas que surgem de combinações de cargas operacionais. Ao projetar estruturas de Taquaruçu, as propriedades dos materiais complementares como suportes, parafusos, fixadores, conectores, colas e placas devem ser levadas em consideração de acordo com as orientações dos fabricantes. [50]

Ao projetar estruturas de Guadua (Taquaruçu), as propriedades dos materiais complementares devem ser levadas em consideração de acordo com as orientações dos fabricantes. Todas as medidas adequadas para proteger esses elementos contra umidade, salinidade e quaisquer meios que possam comprometer a sua integridade estrutural devem ser consideradas. Em nenhuma circunstância as instalações hidráulicas, elétricas ou qualquer outras podem ultrapassar ou prejudicar os limites do sistema estrutural. [50]

Todas as estruturas de Guadua necessitam possuir um sistema estrutural que atenda aos requisitos necessários para a segurança contra terremotos. Aconselha-se a utilização de pórtico com travamento diagonal junto com sistema de painéis tiras trançados ou sistema de pilares e vigas com limite de 2 pavimentos. [50]

Para se projetar estruturas em bambu devemos analisar todas as possíveis forças que podem atuar sobre a estrutura no decorrer da sua construção e serviço. O projeto estrutural deve refletir todas as cargas possíveis que atuam na estrutura durante as fases de construção e operação, além das condições ambientais que podem gerar mudanças nos pressupostos de projeto ou que podem afetar a integridade de outros elementos estruturais. [50]

7.3 ORIENTAÇÕES PARA LIGAÇÕES E CONEXÕES DE ESTRUTURAS DE BAMBU - PESQUISA DE NORMAS NA AMÉRICA DO SUL.

7.3.1. NORMA PERUANA NTE E.100

Quando duas peças de bambu estão no mesmo plano e dependendo dos tipos de ligações a serem feitas, recomenda-se fazer cortes que permitam um maior contato entre elas ou utilizar peças de conexão que cumpram esta função. Os cortes básicos que podem ser usados são os seguintes: [52]

Nas ligações entre bambu existam três estilos de cortes mais usados, que são: corte reto, corte que é perpendicular ao eixo do bambu; Corte "boca de peixe" e corte "bico de flauta" ao eixo do Guadua (Figura 7.1 esquerda); O corte de "boca de peixe", normalmente é usado para conectar duas peças de bambu (Figura 7.3 esquerda); O corte de "Bico de flauta" serve para unir bambus que estão em diferentes ângulos entre 0 ° e 90 ° e pode ser realizado com a boca de peixe inclinada ou com dois cortes retos, (figura 7.4 esquerda).

Cortes Retos

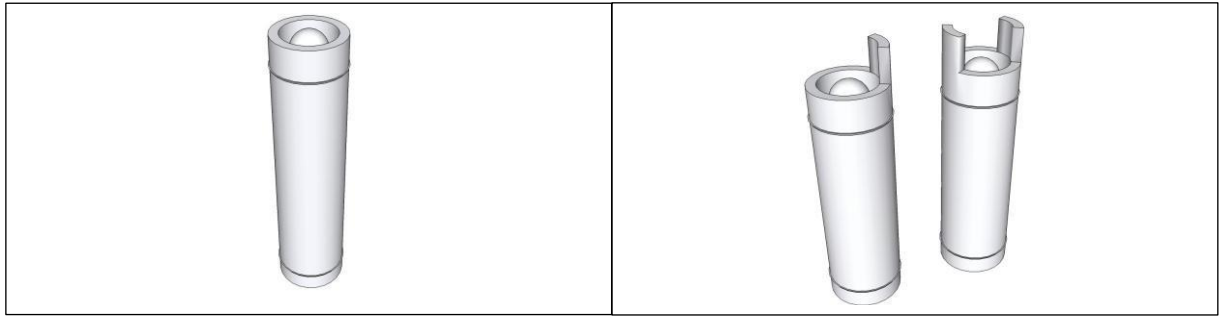


Fig. 7.1 Corte Reto sem orelhas / Corte reto com orelhas [52]

Cortes Biselados

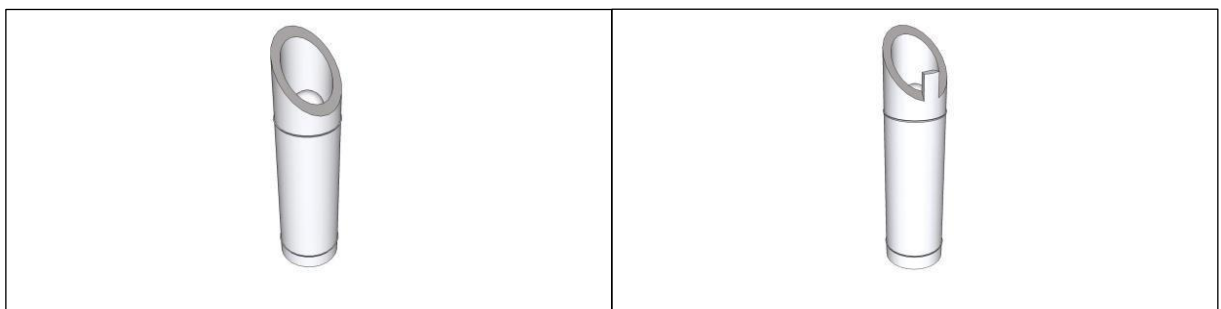


Fig. 7.2 Corte biselado sem orelhas / Corte biselado com orelhas [52]

Cortes “Boca de peixe”

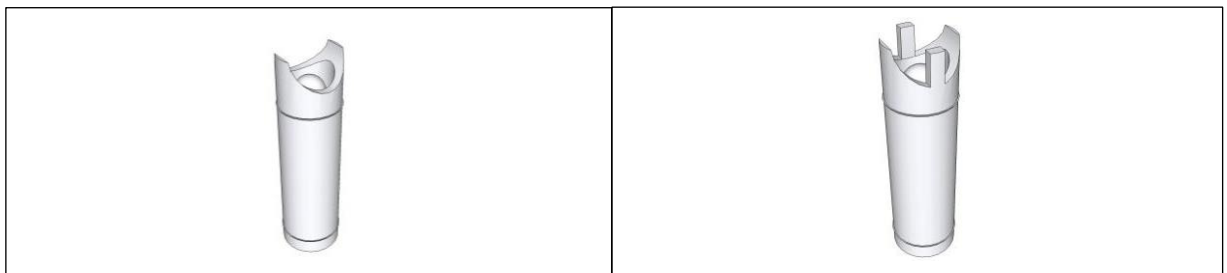


Fig. 7.3 Corte “boca de peixe” sem orelhas / Corte “boca de peixe” com orelhas [52]

Cortes “Bico de flauta”

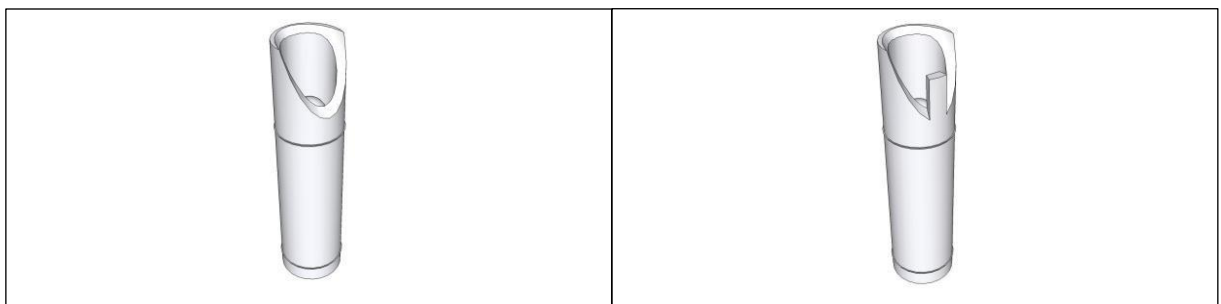


Fig. 7.4 Corte “bico de flauta” sem orelhas / Corte “bico de flauta” com orelhas [52]

As ligações não podem permitir o deslocamento dos colmos e nem devem se deslocar. Podemos usar diversos materiais para executar essas ligações, tais como: fios, fitas e cintas metálicas; cordas, couro,

plásticos ou semelhantes (figura 7.5). O uso dessas ligações precisa ser previamente determinado e justificado pelo projetista. [52]

Ligações amarradas

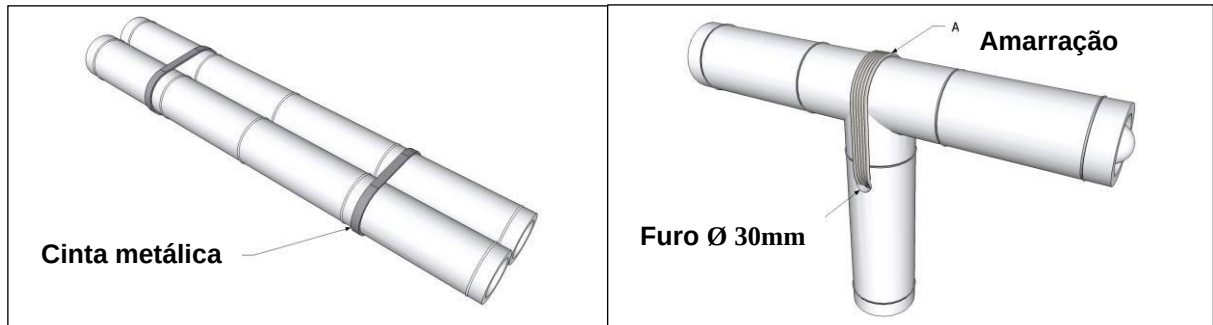


Fig. 7.5 Ligação com cinta metálica / Ligação por amarração [52]

As conexões também podem ser feitas com parafuso ou tarugo (Figura 7.6). Os parafusos podem ser produzidos diretamente na construção com hastes roscadas ou com hastes roscadas contínuas, disponíveis no mercado. O furo no entrenó para o parafuso tem de passar pelo eixo do colmo. Os tarugos precisam ser feitos de aço, de madeira maciça ou de outro material de resistência semelhante. Arruelas, placas de metal ou algum outro material de resistência semelhante devem ser usados entre a porca e o bambu.

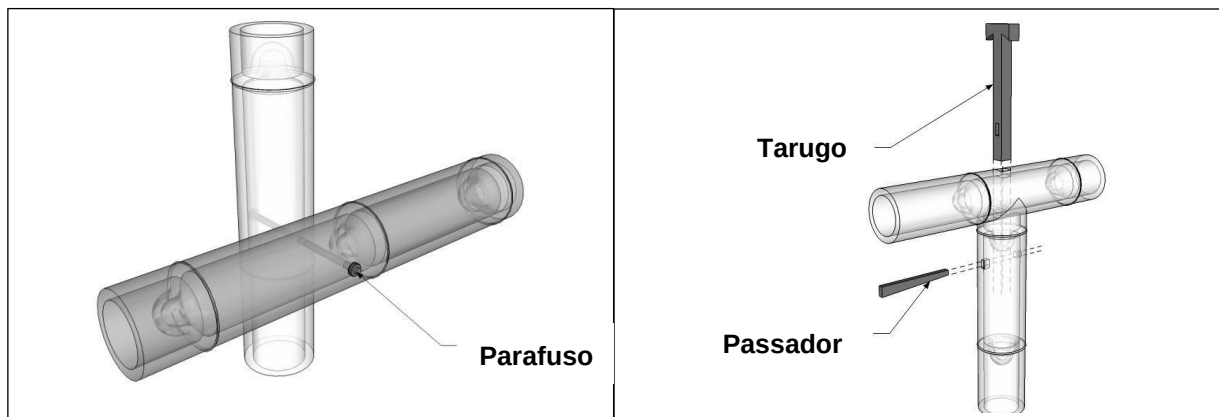


Fig. 7.6 Ligação com parafuso / Ligação com tarugo [51]

Se um internódo for submetido a uma força de compressão ou tiver que ser preenchido com argamassa (figura 7.7), as seguintes recomendações devem ser observadas: A argamassa pode ser feita na proporção máxima de 1: 4 (cimento e areia), tendo de ser fluida o suficiente para encher o internódo. Aditivos de fluidez e de redução de água não corrosivos (para preparação) podem ser usados. Para a colocação da argamassa, deve ser feita uma perfuração com diâmetro máximo de 4 cm no local mais próximo do nó superior do pedaço de bambu e ser introduzida a argamassa pelo furo, utilizando um funil. [52]

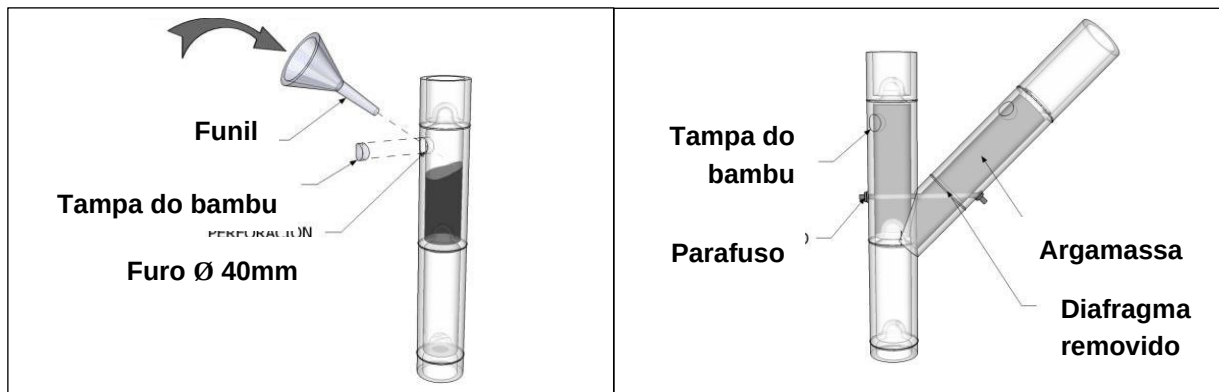


Fig. 7.7 Preenchimento com argamassa / Ligação com parafuso e argamassa [52]

Para ligarmos duas peças de bambu no sentido do comprimento (Figura 7.8), é necessário selecionar peças com diâmetro semelhante e conectá-las com conectores. Essa conexão pode ser feita usando uma peça maciça dentro das pontas dos dois colmos e os diafragmas tem de ser removidos. Para a fixação da conexão aparafusada, devem ser utilizados 2 parafusos com pelo menos 9 mm perpendiculares entre si em cada uma das peças. Os parafusos não devem ser posicionados a mais de 30 mm dos nós. A distância entre o parafuso e a borda do pedaço de madeira que conecta os bambus (Figura 7.8) designa-se Δ (Delta), nesta norma. O valor de Δ (Delta) é de pelo menos cinco (05) diâmetros do parafuso utilizado. [52]

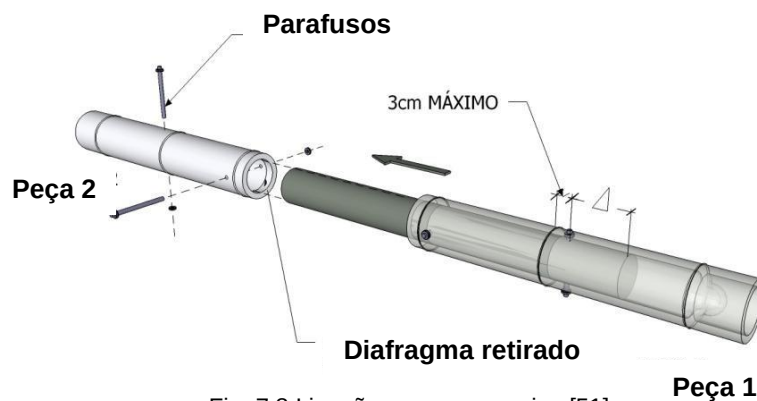


Fig. 7.8 Ligação por peça maciça [51]

A ligação entre os dois colmos também pode ser feita com duas peças metálicas, as quais são fixadas com parafusos de pelo menos 9 mm, paralelos ao eixo longitudinal da ligação (Figura 7.9). Os parafusos podem ter uma distância máxima de 30 mm em relação aos nós mais próximos.

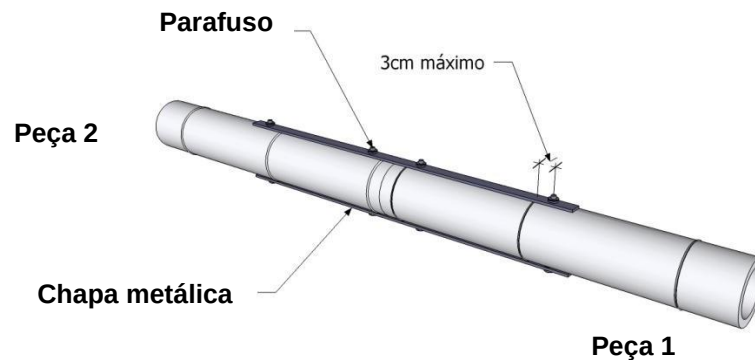


Fig. 7.9 Ligação por chapa metálica [51]

A ligação entre dois colmos também pode ser feita da mesma maneira citada anteriormente, mas substituindo as folhas metálicas por duas grossas peças de bambu, as quais são fixadas com parafusos de pelo menos 9 mm paralelos ao eixo longitudinal da conexão (Figura 7.10). Os parafusos podem ter uma distância máxima de 30 mm aos nós mais próximos.

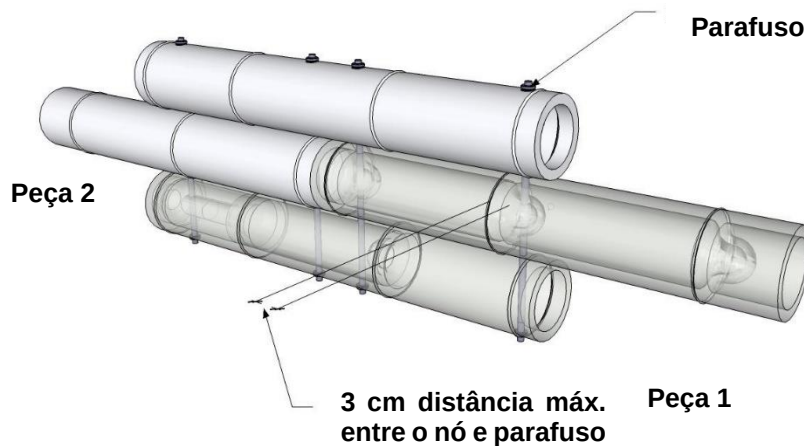


Fig. 7.10 Ligação aparafusada [52]

7.3.2 NORMA EQUATORIANA [51]

Os conectores precisam aguentar os esforços externos aos quais estão expostos. Devem ser tidas em consideração as diferentes cargas a que a estrutura é submetida, em particular as cargas perpendiculares às fibras e as forças de cisalhamento paralelas às fibras. Não são toleradas ligações pregadas e, em nenhuma hipótese, podem ser utilizados pregos, tachas ou qualquer outro elemento que possa causar rasgos longitudinais nas fibras do *Guadua*, pois isso compromete a capacidade estrutural da peça. [51]

Em situações em que as ligações dos caules de bambu estejam sofrendo esforços de compressão, é fundamental preencher a ligação e os colmos adjacentes ao ponto que irá receber esse esforço, visando evitar o seu esmagamento e danificação da peça. Os colmos onde passam os parafusos ou hastes, nesta situação, também precisam ser preenchidos. [51]

Os caules de bambu que ficam na "boca de peixe" devem se ajustar completamente à "boca" e os caules que se unem devem ter um diâmetro semelhante. No caso dos colmos com "boca de peixe", o diafragma deve ser removido para ajudar na passagem da ferragem. No caso de ligações verticais, deve-se obter o maior contato possível entre os caules. O espaçamento entre o diafragma e o fundo do corte "boca do peixe" tem de estar entre 40 e 60 mm. [51]

No caule que tem "boca de peixe", tem de se introduzir uma haste roscável de 10 mm que deve ficar posicionada de 30 à 40 mm abaixo do nó e que deve ser travada com porcas e arruelas. Este elemento chama-se parafuso de ancoragem (chumbador). No caule a ser suportado, deve-se fazer uma perfuração transversal perpendicular às suas fibras para cruzar o caule. Um parafuso com um gancho em uma extremidade e uma rosca para a haste roscada na outra deve ser usado como tensor. Deve-se verificar que este parafuso guia é dimensionado de forma que o parafuso âncora alcance seu gancho e sua outra extremidade se projete acima da superfície da haste ortogonal. [51]

Deste modo, o tensor é travado com o chumbador e a outra extremidade é empurrada através das perfurações feitas no caule de suporte até que seja travada com uma porca e arruela (figura 7.11). Para

que o chumbador não corte a peça, os entrenós nos quais se encontra o chumbador devem ser preenchidos com argamassa. O entrenó sobre o qual o tensor atua também deve ser preenchido com argamassa para evitar que a superfície do bambu sofra um esmagamento. [51]

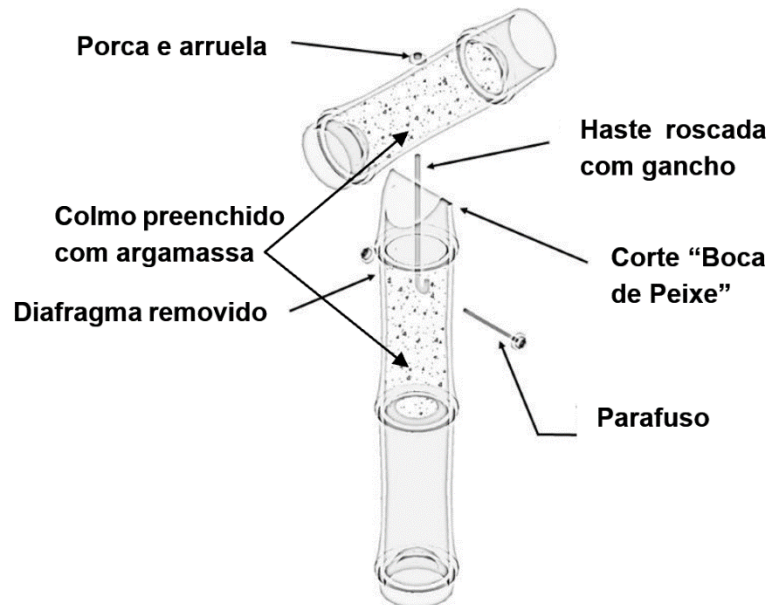


Fig. 7.11 Ligação 90° com parafuso de tensionamento [51]

A ligação anterior com boca de peixe auxilia no travamento de duas peças estruturais perpendiculares entre si. Porém, para facilitar o processo e diminuir o tempo trabalho, a ligação entre os eixos pode ser feita com peças metálicas. [51]

Os projetos estruturais têm de contemplar o dimensionamento das partes metálicas e a definição do diâmetro dos caules a serem usados. Para uma ligação em meia cana, é feito um corte reto no caule que vai segurar a peça e, no lugar da boca do peixe, precisa-se usar um disco metálico de 2 mm de espessura com furo central de 10 mm e uma meia cana metálica sobre ele, feita com um tubo de Ø 4" e com 150 mm de comprimento (figura 7.12).

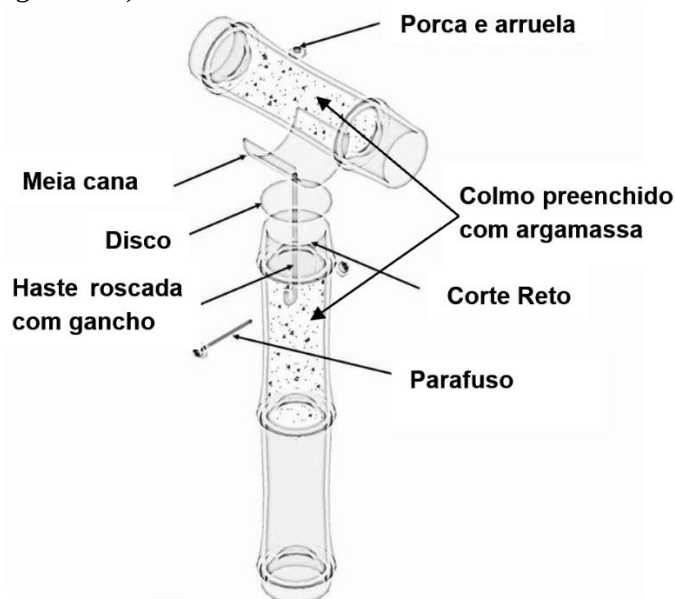


Fig. 7.12 Ligação 90° com meia cana [51]

O disco metálico terá diâmetro de acordo com os colmos: 100, 110, 120, 130 mm. As meias canas metálicas são fixadas nas hastes da mesma forma, com a opção de abrir ou fechar as laterais da peça metálica para melhor adaptação ao bambu. O posicionamento e a fixação do parafuso de ancoragem e da haste de tensionamento são indicados acima.

As conexões diagonais são feitas com um corte denominado bico de flauta, que conecta um elemento vertical ou horizontal a outra peça que não esteja posicionada paralelamente ou perpendicularmente à peça a ligar. Com essas conexões, o maior contato possível entre as partes deve ser alcançado. Esta conexão diagonal pode ser fixada de duas maneiras: fixando uma haste de tensionamento e um chumbador e/ou fixando uma haste rosca no ângulo formado entre a haste vertical e a haste diagonal (figura 7.13).

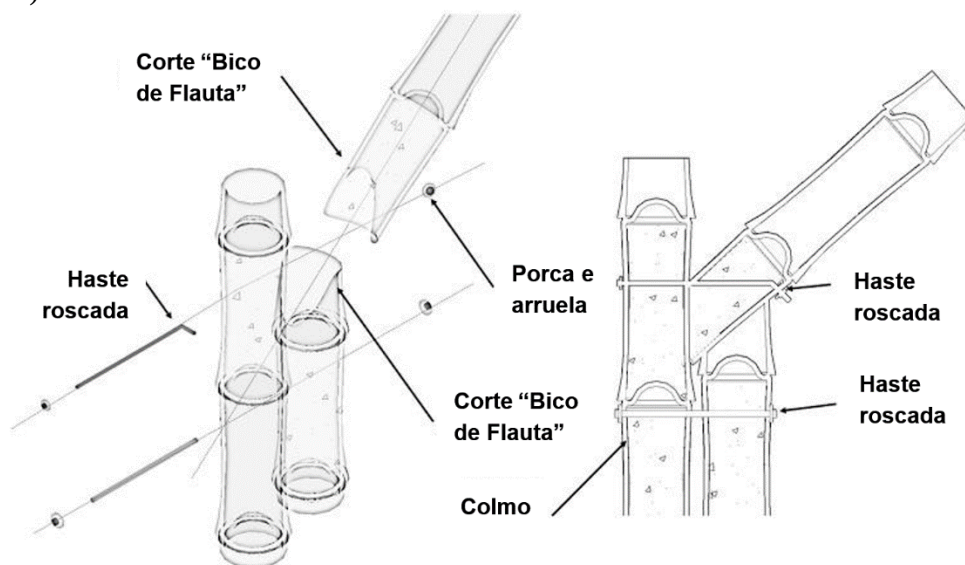


Fig. 7.13 Ligação diagonal com bambu de apoio [51]

A fixação de parafusos diagonais significa que as porcas e arruelas não estão perpendiculares às fibras do caule, o que faz com que a parte do bambu sofra fissuras. Para evitar isso, recomenda-se a utilização de pequenos pedaços de madeira, neoprene ou metal, que permitem uma melhor conexão por causa do aumento da área de contacto. A haste rosca que cruza e conecta os caules deve correr atrás da zona nodal que corta o bico da flauta para evitar rachaduras.

Novos tipos de conexão são autorizados desde que seja confirmado por estudo científico de pelo menos 30 testes, que permita verificar que a capacidade da conexão proposta é equivalente ou superior à especificada nesta norma.

7.3.3. NORMA COLOMBIANA NSR - 10

Geralmente, apenas bambu seco ou curado deve ser utilizado. Se tal não for adotado, uma atenção especial tem de ser dada às alterações dimensionais que acontecem durante o processo de secagem das peças montadas úmidas. Essas mudanças geram tensões internas na junta, o que pode levar à distorção e, por fim, à falha. [50]

A Colômbia tem a norma NTC 5407 "Uniões em Estruturas com *Guadua angustifolia*", que define os valores mínimos que devem ser cumpridos para a elaboração de ligações na construção de sistemas

estruturais com Guadua. Cada elemento que constitui uma ligação tem de ser projetado de forma que não falhe puxando perpendicularmente às fibras e cortando paralelo às fibras. Ao utilizar cortes especiais em Guadua, devem ser tomadas as medidas necessárias para evitar a ruptura da junta. Em nenhuma situação as conexões com pregos são permitidas, pois os pregos causam fissuras longitudinais devido ao arranjo das fibras dos colmos de Guadua. [50]

As recomendações da norma colombiana se aplicam a conexões aparafusadas entre dois ou mais caules de bambu, a conexão de elementos Guadua com chapas de metal ou à fixação de caules com componentes de betão usando chapas de metal e barras de aço. [50]

As conexões aparafusadas são habitualmente utilizadas quando os requisitos para uma conexão são elevados, o que requer a utilização de parafusos com chapas de aço. Parafusos e chapas para conexões aparafusadas devem ser feitos de aço estrutural com uma resistência de pelo menos 240 MPa. O diâmetro mínimo permitido para os parafusos é de 9,5 mm e a espessura mínima da folha de metal é de 5 mm (3/16). [50]

Os furos para preenchimento dos internódios não podem ser maiores que 26 mm. Depois de introduzida a argamassa nos caules, deve-se recolocar a tampa retirada com serra copo. É permitida a utilização de braçadeiras, cliques ou cintas metálicas na construção das ligações, desde que sejam tomados os devidos cuidados para que não ocorram esmagamentos e rupturas por compressão perpendicular à fibra nos elementos, assim como a separação e deslizamento entre os elementos ligados. [50]

Todos os parafusos e demais peças metálicas da conexão aparafusada expostos a condições climáticas desfavoráveis precisam ser tratados com proteção anticorrosiva. O uso de grampos, fitas, cintas e abraçadeiras metálicas é permitido, desde que sejam tomadas as devidas precauções para evitar esmagamento e falha causada pela compressão vertical das fibras em componentes individuais, também resultantes de separação e deslocamento entre os elementos conectados. [50]

7.4 EXEMPLOS DE SOLUÇÕES MODERNAS NO BRASIL

7.4.1 REGIÃO NORDESTE

7.4.1.1 BAHIA - ALBERGUE ECOLÓGICO

Este empreendimento está localizado no Morro de São Paulo, no Recôncavo Baiano. Nesta estrutura de bambu funciona um albergue e centro de treinamento. O projeto de arquitetura foi concebido pelo escritório IR arquitetura, o projeto estrutural e execução de cobertura pela CMAR Construções Alternativas e as obras duraram cerca de 2 anos, entre o ano de 2012 e 2014. [55]

O Albergue é composto por duas grandes construções de 6,40m x 6,40m, onde funciona as zonas comuns dos hóspedes como: recepção, salão social, refeitórios e albergue, como é visto na figura 7.14. Esse módulo possui um pé direito maior para comportar um mezanino. Além dessas duas construções, o albergue inclui mais sete módulos menores de 3,20m x 3,20m, onde funciona com quartos privativos com casa de banho.



Fig. 7.14 Módulo de 6,40m x 6,40m [55]

O principal material utilizado neste projeto é o bambu, que é usado na estrutura, revestimento de piso, iluminação e mobiliário. O bambu utilizado foi da espécie *Guadua*, por causa que nesta zona se encontra a alguns quilômetros da ilha uma das maiores plantações de *Guadua* na América Latina. As fundações foram executadas com sapatas de betão. Para manter a estrutura de bambu distante do solo foram utilizados pilares de betão, que se ligam com os pilares em bambu da estrutura. Todos os pilares e vigas da estrutura são em bambu (figura 7.15) e sobre essa estrutura está uma laje em betão armado. A estrutura do telhado também é de bambu, coberta com piaçava. [55]



Fig. 7.15 Pormenores construtivos [55]

A seguir podemos ver um corte construtivo da estrutura na figura 7.16:



Fig. 7.16 Corte construtivo [55]

7.4.1.2 BAHIA - Fabrica de óleo de coco

A edificação se encontra situada no Sítio Paraíso, em Ilhéus, região sul da Bahia. Foi construída no ano de 2018 e nesta estrutura de bambu funciona a extração de óleos da fibra do coco para a produção de óleo de coco de uma fábrica que funciona neste local. [57]

O projeto arquitetônico foi assinado pelo arquiteto Jules de Laage e o projeto estrutural e execução de cobertura pela CMAR Construções Alternativas. A obra foi realizada por 6 trabalhadores no prazo de 90 dias. [57]

Na construção da estrutura principal foi usado bambu *Guadua spp*, que recebeu tratamento por imersão em solução de ácido bórico e bórax para prolongar sua vida útil. Sapatas e vigas em betão foram utilizadas para realizar a fundação e peças metálicas foram as responsáveis por fazer a ligação entre o arranque dos pilares com os colmos de bambu. Na estrutura da cobertura foi utilizado bambu nos elementos de suporte e pannel estrutural OSB nos revestimentos, sendo que toda a cobertura foi impermeabilizada com uma argamassa armada e teve sua superfície pintada, como pode ser visto na figura 7.17. [57]



Fig. 7.17 Estrutura da fábrica [57]

7.4.1.3 Alagoas – Moradia Social

Neste ponto descreve-se uma moradia social unifamiliar construída em Maceió, capital do Estado brasileiro de Alagoas. A construção se encontra no Parque Municipal de Maceió (ver figura 7.18). Foi proposto pelo projeto de integração desenvolvido pelo Instituto do Bambu a construção de uma moradia de Interesse social usando bambu em grande parte da estrutura. A espécie utilizada foi a *Bambusa vulgaris*, por ser nativa da região. [56]

A moradia foi construída em 2003, sendo composta por dois quartos, uma casa de banho, uma cozinha integrada com a sala, um terraço coberto e lavanderia na parte externa da residência. [56]



Fig. 7.18 Moradia social [56]

Na construção do protótipo, o método adotado foi o Colombiano, com esteiras para fazer o fechamento da estrutura, formando um painel de bambu. Esta solução, além de ser uma estrutura ecológica, favorece termicamente a moradia, graças a câmara de ar criada entre as esteiras. [56]

No piso foi adotado cimento queimado em toda a moradia, na estrutura das paredes foi usado bambu, e a cobertura foi construída com treliças em bambu sendo revestida por telha de fibrocimento. Nesta habitação não foi adotado teto falso. [56]

Na construção da estrutura foi feita uma pré seleção dos colmos, por tamanho e espessura. Os colmos foram cortados de modo a que se evitasse a perda de material. Os que tinham mais de 4 metros de comprimento e mais de 6 cm de diâmetro foram usados para executar pilares e vigas. Os colmos com menos de 4 metros foram usados na fabricação de esteiras para fechar a estrutura. [56]

As fundações usadas nesse projeto foram os blocos de betão nas zonas dos pilares, e no perímetro das paredes uma sapata corrida de betão armado, e sobre essa fundação criado uma viga baldrame para elevar mais a estrutura. Os colmos usados para os pilares foram tratados com cura ao fogo antes da utilização. [56]

Os painéis de fechamento da moradia foram fabricados com dimensões verificadas no local depois que os pilares foram posicionados. Estes painéis são constituídos por uma ripa de madeira no perímetro, aos quais foram fixadas as esteiras de ambos os lados, interrompidas localizadamente com as aberturas de portas e janelas, durante o processo de construção. [56]

Os painéis foram revestidos com argamassa nas duas faces e a sua adesão foi garantida pelo ponto da esteira com a parte interna do bambu voltada para fora e pela aplicação de um chapisco, como pode ser visto na figura 7.19. Os painéis foram presos aos pilares e a viga baldrame fixada com parafusos. A passagem dos tubos hidráulicos e elétricos foi realizada no espaço interior delimitado pelas duas esteiras.



Fig. 7.19 Aplicação de argamassa [56]

7.4.2 Região Norte

7.4.2.1. Acre - Parque Ambiental Padre Paolino Baldazari

Esta obra tem muita representatividade porque no Estado do Acre se encontra a maior floresta nativa de bambu do Mundo. A construção deste parque foi motivada para se aproveitar os espaços verdes do centro da cidade e criar espaços de integração para a comunidade. O Padre Paolino que é o homenageado e que dá o nome ao parque desenvolveu um trabalho social muito importante na comunidade. O primeiro edifício corresponde ao espaço cultural, que tem como função acolher exposições, encontros e cursos de formação. No segundo edifício, fica a administração do parque, que dá suporte e controla o seu funcionamento. No terceiro edifício funciona uma escola, no quarto edifício fica a entrada do parque e no quinto situa-se a administração e casas de banho, como é visto na figura 7.20, a seguir.



Fig. 7.20 Construções no parque Padre Paolino [57]

As edificações foram erguidas em cerca de 4 meses entre dezembro de 2009 e março de 2010, tendo a obra sido realizada pela Secretaria de Estado de Infraestruturas e Obras Públicas (SEOP) do governo do Estado do Acre. As construções se encontram localizados na Av. Orleir Cameli em Sena Madureira. Tem uma área total construída de cerca de 774 m².

O projeto arquitetônico ficou sob responsabilidade da SEOP e do arquiteto Elson Magalhães. O Projeto arquitetônico da cobertura é da responsabilidade da arquiteta Celina Llerena, especialista em construções em bambu. A sua construção envolveu cerca de 3 mestres bambuzeiros e 5 trolhas, que foram treinados para construir usando as técnicas do bambu.

Nestas construções as espécies utilizadas foram *Guadua angustifolia*, *Guadua sarcocarpa* e *Guadua superba*, que são todos nativos da região do Acre. Embora esta última espécie ainda não tenha sido catalogada oficialmente, segundo a pesquisadora Dalva Graciano Silencio, amparada pelo conhecimento do pesquisador colombiano Oscar Hidalgo-López, todos os bambus foram retirados de moitas da região. Muitas dos colmos usados na construção foram retirados das margens do rio Purus. Apesar de estes bambus existirem em enorme quantidade neste local, segundo os trabalhadores envolvidos no projeto, se levaram dias e dezenas de quilômetros para se encontrar moitas com bambus com o tempo de maturação certo para ser colhido com a finalidade de uso estrutural.

Os bambus selecionados foram colhidos e deixados para secar na floresta por um mês. Este método é conhecido como a cura na mata. Após este período eles foram levados e sofreram o tratamento por imersão em solução de ácido bórico e bórax. Depois deste tratamento, os caules foram colocados em um local à sombra e em pé para o escoamento de todo o excesso de líquido de preservação e para secagem final das peças. Essa combinação de produtos químicos atua como inseticida e fungicida com atividade residual de longa duração, pois agem diretamente como proteção contra as pragas que atacam o bambu, impedindo que estes insetos possam processar a celulose extraída em seu organismo.

A arquiteta que ficou encarregada do planejamento e execução da cobertura de bambu das construções semiacabadas não pôde alterá-las em altura nem em largura, de modo que foram desenvolvidas maquetes em escala para análise específica compatível com os materiais processados, como é visto na figura 7.21.

Os pormenores, como a inclinação da cobertura, levaram em consideração que a cobertura seria de origem vegetal como a seguir se explica.

A palha necessita de 70% de inclinação para ter estanqueidade e é fundamental projetar beirais grandes e largos para proteção dos bambus da estrutura contra a ação da chuva incidente.



Fig. 7.21 Maquete da cobertura da escola [57]

A palha da palma foi utilizada para cobertura, Esta foi sempre muito utilizada nas moradias indígenas, muito antes da colonização dos portugueses, e em residências rurais, e é fácil de encontrar nesta região para futuros reparos. O forro em esteiras de bambu e a estrutura do telhado foram executados com bambu. Nos vãos abertos, sem painéis de fechamento, os caules foram presos a peças em madeira de Carapanaúba, que é uma árvore típica da região. Essa escolha tem a ver com o elevado índice pluviométrico da região a que se associa uma alta incidência solar, o que acabaria reduzindo a vida útil do bambu, aumentando assim a necessidade de reparos e trocas de peças, caso fosse utilizado para compor os pilares dessa zona (figura 7.22).



Fig. 7.22 Pormenores construtivos [57]

Após a finalização da alvenaria, as coberturas foram travadas (Figura 7.23). A conexão mais comum entre os colmos de bambu foi a "boca de peixe". Para a ancoragem dos caules nas vigas baldrame de betão, ambos os elementos foram perfurados para colocação de hastes metálicas 3/8" roscadas, banhadas em epóxi. Para impermeabilizar e como protetor solar, foram aplicadas duas demãos de tinta acetinada para proteção dos bambus, que se destinam também a evitar o aparecimento de fissuras e fungos.



Fig. 7.23 Pormenores da ligação alvenaria/cobertura [57]

7.4.2.2. Acre - Quiosque de bambu [57]

A reforma do Parque do Tucumã despertou o interesse do governo na pesquisa e aplicação de construções a partir de espécies de bambu nativas da região, sobretudo da *Guadua spp*, popularmente conhecida como Taboca, sendo que é uma matéria-prima abundante por todo o Acre. O *Guadua* é um bambu de tamanho grande, com boas propriedades mecânicas e um excelente potencial para uso estrutural. O intuito dessa obra foi criar um lugar para refeições neste parque turístico em Rio Branco, capital do Acre. [57]

O Quiosque de bambu do Parque Tucumã (figura 7.24), fica localizado ao lado da Universidade Federal do Acre em Rio Branco, junto à estrada federal BR 364. Foi construída entre 2013 e 2014, com área construída de cerca de 360 m². O projeto arquitetônico foi idealizado pelas arquitetas Carolina Sgorla e Marlúcia Cândida. O projeto estrutural e o acompanhamento da obra foram da responsabilidade do Eng. Civil Flavio Calixto. [57]



Fig. 7.24 Fachada do quiosque [57]

A mistura de investigadores e profissionais com experiência com projetos de bambu no Brasil foi de grande valia na parceria, desenvolvimento e sucesso do projeto e na construção da obra. Os responsáveis técnicos realizaram reuniões frequentes com o objetivo de dissipar em conjunto as dúvidas que surgiram sobre o cálculo estrutural, tipos de conexões e o tipo de tratamento que seria mais eficaz para a preservação dos bambus. Também houve o treinamento dos técnicos envolvidos no projeto e dos operários que executaram os trabalhos do quiosque. Essas medidas foram indispensáveis para compreender melhor o bambu, agregar conhecimentos de outras regiões, promover o uso desse insumo e possibilitar a adaptação e utilização dessas técnicas à realidade do clima equatorial úmido do Estado.

Assim como no projeto anterior, essa equipe desenvolveu uma maquete do quiosque para melhor entendimento da estrutura (Figura 7.25). Além disso, foi utilizado a norma colombiana NSR10, que é voltada para construção com *Guadua* para cálculo e análise de tensão. [57]



Fig. 7.25 Maquete do quiosque [57]

Seguindo os conceitos das estruturas colombianas, priorizou-se a proteção das bases dos pilares com uma construção de betão, que recebeu uma placa de 10 mm de espessura com conectores para conectar até 6 colmos de bambu para sustentação da cobertura. Toda a estrutura da cobertura é feita com colmos de bambu (fig. 7.26). As conexões foram projetadas pela equipe técnica envolvida no projeto. As telhas utilizadas foram fabricadas com raspas de madeira. A escolha deste material se deu para harmonizar com o local e fazer uma referência histórica às construções vernaculares da região. Durante a construção, foram executados diversos testes de carga, no processo. Alguns suportes foram acrescentados em diversos pontos para reforçar o suporte e dar mais estabilidade e segurança ao telhado. [57]



Fig. 7.26 Estrutura da cobertura [57]

7.4.3 Região Sudeste

7.4.3.1 São Paulo - Centro de Cultura Max Feffer [57] [58]

O Centro Cultural Max Feffer foi construído pelo Instituto Jatobás. Nele se concentram as principais atividades culturais de Pardinho, município do estado de São Paulo. O prédio conta com dois pavimentos com um espaço para oficinas e apresentações artísticas, sala de reunião, biblioteca, sala de informática.

Devido à busca por uma construção mais sustentável, o bambu foi utilizado em grande escala nesta cobertura (figura 7.27). Além disso, foi tomado o cuidado de atingir um alto nível de conforto ambiental com alternativas de baixa tecnologia. [57] [58]

O prédio foi construído no ano de 2008. Até hoje é a maior construção em bambu do Brasil com 1.651 m² construídos. O projeto arquitetônico foi concebido pela arquiteta Leiko Hama Motomura. O bambu foi usado apenas na cobertura para um grande espaço de convivência. Nesta estrutura foi usada a espécie *Guadua chacoensis*, que foi tratado por imersão em solução de ácido bórico e bórax. Devido à grande necessidade de materiais para construção, foi necessária a importação de colmos do Paraguai. Após o tratamento e secagem, para a impermeabilização, foi aplicada uma tinta impregnante para garantir a proteção contra a umidade. [57] [58]



Fig. 7.27 Fachada do centro cultural [58]

Esta estrutura de forma curva foi projetada em madeira de eucalipto para execução dos pilares que apoiam na fundação e para as vigas onde a estrutura de bambu da cobertura se apoia, como é visto na figura 7.28. A cobertura é revestida com telhas transparentes e telhas de fibra vegetal. A construção também apresenta outros elementos sustentáveis como: alvenaria composta por blocos de betão celular; alvenaria aparente com tijolos solo-cimento, dispostos como elemento vazado e tijolos de resíduos de demolição. [57] [58]

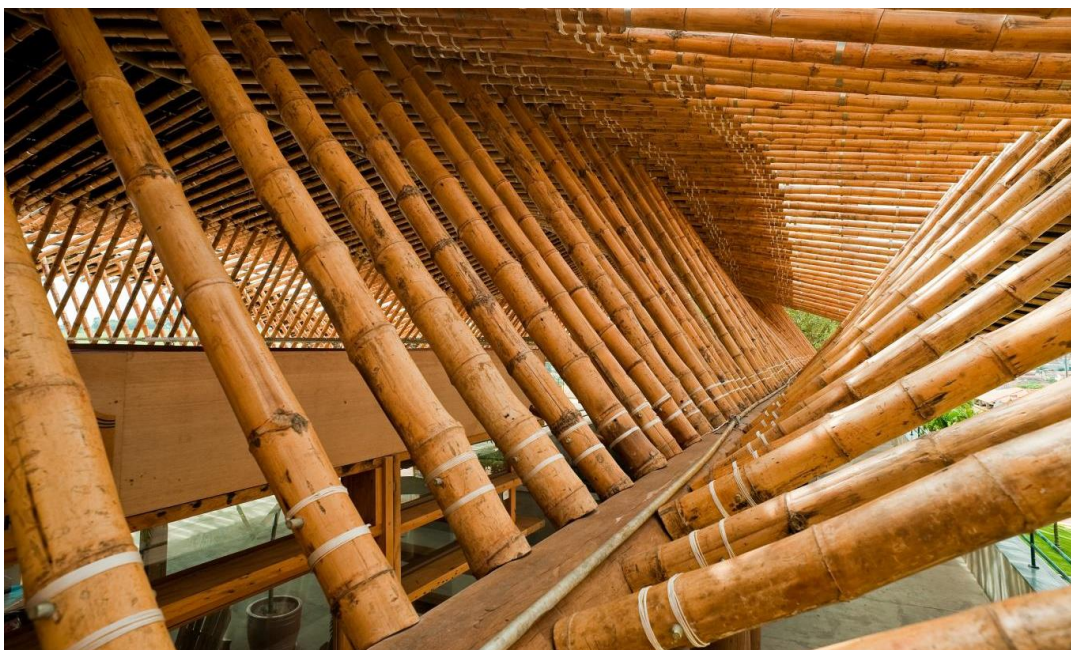


Fig. 7.28 Pormenor da cobertura [58]

Esta construção apresenta grande complexidade devido a essa forma sinuosa que exigiu diversos tipos de suporte tais como, mãos francesas e adaptações de conexões por causa de angulações diferentes. Os bambus receberam abraçadeiras metálicas nas pontas para evitar fissuras. Os colmos, distribuídos em forma de V, aguentam os bambus onde as telhas se apoiam e que estão presos a longarinas metálicas. As conexões adotadas foram projetadas para facilitar a manutenção, quando as peças de bambu precisam ser trocadas, bem como para obter uma forma ondulada. [57] [58]

7.4.3.2 Rio de Janeiro - Cúpula do anfiteatro Junito Brandão

Esta cobertura do tipo cúpula (figura 7.29) é uma estrutura espacial híbrida, formada por estrutura autoportante feita de bambu e membranas de materiais sintéticos, o que a torna uma cobertura leve, cujo desenho foi inspirado nas formas do meio ambiente e foi construída como um espaço ao ar livre para espetáculos, exposições e atividades de lazer. [57] [59]

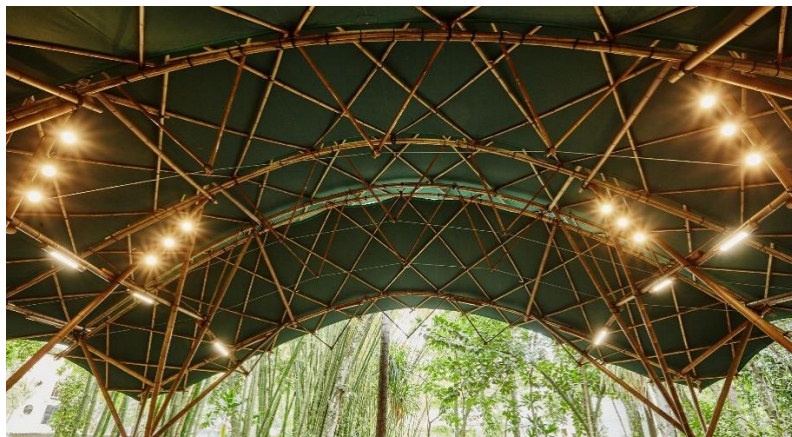


Fig. 7.29 Estrutura interna da cúpula [59]

O Anfiteatro Professor Junito Brandão fica situado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, foi construído em 2014 e possui área construída de 200 m². A estrutura foi desenhada pelo arquiteto Carlos Pingarrilho e o projeto arquitetônico pertenceu ao escritório Bambutec Design. O projeto e a produção das peças levaram 12 meses. Foram utilizados 8 profissionais em sua montagem que levou cerca de 25 dias para ser concluída.

Na construção da estrutura foram usados bambus das espécies *Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys pubescens*, que são originários de plantações no estado de São Paulo e Rio de Janeiro. Foram colhidos os caules maturados, prontos para uso estrutural. Os bambus foram tratados pelo processo de fumaça e têmpera superficial. Após a secagem, as peças foram impermeabilizadas com verniz e resina poliuretânica à base de óleo de mamona. [57] [59]

A estrutura é formada por partes pré-fabricadas que são montadas no local sobre fundações de betão armado que os isolam do solo (figura 7.30). Foram projetadas conexões especiais, para este projeto, que são flexíveis para permitir a alteração da estrutura caso ela seja construída em terrenos com declives, diminuindo assim o desgaste das peças. [57] [59]



Fig. 7.30 Blocos pré-fabricados em betão [59]

As ligações das peças de bambu foram feitas com cordas de poliéster, fios de aço e bio-compostos. Para vedação da estrutura da cobertura foi usada uma lona acrílica, como pode ser visto na figura 7.31.

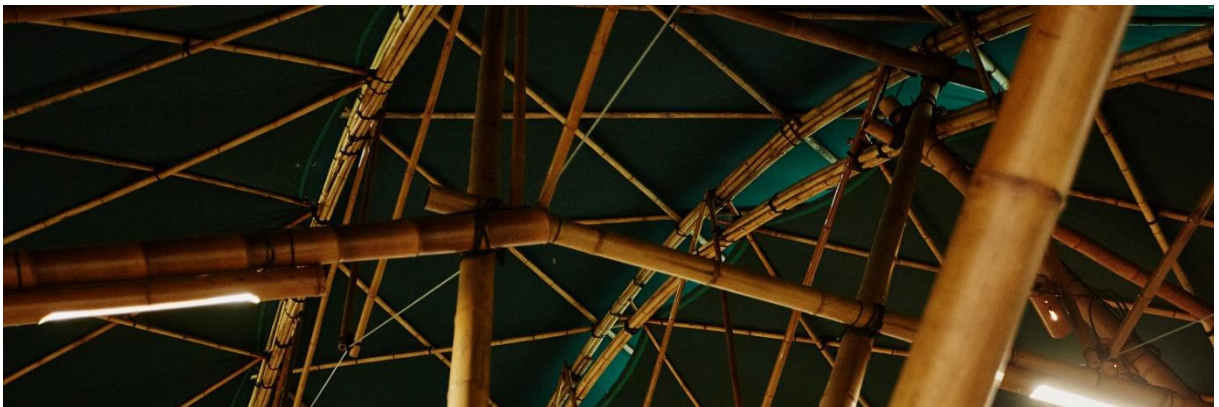


Fig. 7.31 Amarrações das peças de bambu [59]

7.4.4 Região Sul

7.4.4.1 Paraná - Espaço para oficinas sobre educação ambiental

Este edifício se encontra em uma área de mata atlântica remanescente de uma reserva natural privativa do Ekôa Park. Nessa reserva acontece ecoturismo, educação ambiental, workshops e desenvolvimento profissional. Todos esses programas são voltados para a conservação do meio ambiente e da biodiversidade. As edificações no local foram construídas de acordo com os princípios da permacultura a partir de materiais naturais e reciclados. [60]

Este prédio foi construído em 2017 com o intuito de abrigar as oficinas, cursos e cozinha escola do Ekôa Park (figura 7.32). A sua construção levou cerca de 60 dias, incluindo a pré-fabricação dos componentes, e possui uma área construída com cerca de 405 m². Os responsáveis pela construção foram o Lúcio Ventania e a equipe da Cerbambu. O arquiteto responsável pelo projeto arquitetônico foi o Tomaz Lotufo.



Fig. 7.32 Fachadas do Ekôa Park [60]

O bambu *Phyllostachys aurea* foi usado para a estrutura do segundo pavimento do prédio, que abriga a cozinha e o espaço para o desenvolvimento das oficinas. Esse tipo de bambu é usado por artesãos da região na confecção de móveis e outros itens. Pensando nisso, um dos objetivos do projeto era incentivar a utilização desse elemento em outras aplicações, neste caso em edificações.

Com base nas propriedades e dimensão dos colmos de bambu, o projeto propôs componentes estruturais compostos por múltiplos colmos utilizando pórticos triangulados para maior resistência mecânica. Para a pré-fabricação, o módulo estrutural foi dividido em três partes: duas colunas e uma viga, cada uma composta por diversos bambus.

Os elementos em bambu foram produzidos pela equipe de Lúcio Ventania em parceria com a Cerbambu (figura 7.33). Foi utilizada a pré-fabricação e promovidas pequenas cooperativas que comercializam esse material com valor agregado: bambu tratado usado como elemento de apoio para trabalhos de decoração. O bambu foi tratado a fogo com maçarico, a mesma técnica usada para fazer móveis e artesanato.



Fig. 7.33 Pré-fabricação das peças [60]

As conexões dos caules de bambu foram executadas com parafusos de metal. Em relação à proteção do bambu contra as intempéries, foram projetados grandes beirais para proteger o bambu da chuva e da incidência solar, como pode ser visto na figura 7.34.



Fig. 7.34 Pormenores da estrutura [60]

7.4.1.2 Paraná - Espaço agroecologia

Essa estrutura foi concebida pela união entre o Setor Agropecuário da Universidade Federal do Paraná - UFPR e o Centro Paranaense de Referência em Agroecologia - CPRA, buscando realizar a ampliação da "Feira de Produtos Orgânicos: Medidas de Apoio à Agricultura em Base Ecológica". O espaço é usado para a realização de feira de alimentos orgânicos (figura 7.35), ações de capacitação e divulgação em agroecologia, atividades culturais e além de extensão da universidade.



Fig. 7.35 Pormenores internos da estrutura [57]

O espaço Agroecologia foi construído em 2017, possuindo uma área construída de 200 m². Na sua construção foram utilizados 3 trabalhadores mais alguns trabalhadores esporádicos, usados em apoio de serventia não especializada.

O bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* (mossô) da região foi usado nos pilares. Foi utilizado *Phyllostachys aurea* (cana-de-índia), nas vigas e treliças, fornecido por produtores rurais da região. A diferença de diâmetro entre esses tipos de bambu na estrutura foi propositada. Faz parte da concepção do edifício, dando-lhe um cariz único. Todos os bambus passaram por um tratamento de fogo antes de serem utilizados na construção.

Os pilares de bambu consistem em três caules conectados por um pedaço de madeira. Todos foram protegidos do contato direto com o terreno por fundações de betão isoladas e uma laje (figura 7.36). Os beirais protegem a construção da luz solar direta e da chuva.



Fig. 7.36 Pormenores construtivos [57]

As conexões foram executadas com conectores metálicos: parafusos, porcas e arruelas. Para a junção das peças de bambu, a maioria dos cortes foram retos. Porém, dependendo do tipo de ligação entre os pés, também se usou a ligação tipo “boca de peixe” e em algumas peças de menor diâmetro, os bambus foram cortados em forma de “bico de flauta”.

7.4.5 Região Centro-Oeste

7.4.5.1 Mato Grosso do Sul - Memorial da cultura indígena

O memorial da cultura indígena é a primeira obra em bambu de importância maior, realizada no Brasil (figura 7.37). A construção funciona como centro cultural e está localizada em Campo Grande, capital do Mato Grosso do Sul na aldeia indígena Urbana Marçal de Souza. O memorial é formado por dois edifícios que apresentam aos turistas a história e a realidade da comunidade indígena e também são usados como um local para os indígenas exporem e comercializarem a sua arte. [61]



Fig. 7.37 Memorial da cultura indígena [61]

O memorial foi construído no ano de 1999, em Campo Grande e possui uma área construída de 340 m². O Projeto arquitetônico foi realizado pelo Arq. David Rees Dias e o projeto estrutural pelo Eng. Edson de Melo Sartori e o Arq. Rubens Cardoso Jr. A obra levou aproximadamente 88 dias para ser concluída, e utilizou em sua construção 34 operários.

O formato em forma de círculo, com coberturas curvas no projeto arquitetônico, é inspirado nas ocas indígenas, que são as moradias ancestrais dos índios brasileiros, ver capítulo 2. O projeto inicial incluía um mezanino, uma área apresentações artística e exposição, uma recepção, casas de banho, um museu e uma área de cursos. No começo do projeto a construção seria feita com uma estrutura metálica, mas foi construído em bambu para atender ao orçamento fornecido pela prefeitura e aproveitar os recursos naturais encontrados na região. Os tipos de bambu usados foram *Dendrocalamus asper* e *Guadua angustifolia*, de cidades da região.

Os caules de bambu foram tratados pela técnica de Boucherie modificado e pela secagem a fogo. O tratamento com autoclave também foi tentado nos caules de *Guadua spp*, mas foi ineficaz porque a pressão fissurou os colmos.

As fundações foram feitas em blocos de betão e o telhado em esteiras de palha de Bacuri. A estrutura consistia em caules de bambu conectados com peças metálicas tanto nas coberturas quanto nas fundações, como é visto na figura 7.38.



Fig. 7.38 Memorial da cultura indígena [61]

7.4.5.2 Distrito Federal - Centro de educação SINPRO

O centro de referência em educação ambiental é um espaço ecoeducativo que visa promover a sustentabilidade na rede pública de ensino do distrito federal. É formado por quatro edifícios com fundações de betão armado. As paredes de sustentação foram feitas usando a técnica da parede de barajeque e em algumas paredes de vedação foi usado o pau-a-pique. A estrutura do telhado foi feita com estrutura de bambu revestido por telhas de aparas de madeira.

O Centro de Referência em Educação Ambiental do Sindicato dos Professores do Distrito Federal (SINPRO), possui 1011 m², foi construído no durante os anos de 2012 e 2013, mas só foi inaugurado em junho de 2015. Está localizado na zona de Brazlândia, Brasília. O projeto arquitetônico foi desenvolvido pelo Arq. Sérgio Pamplona e o cálculo da estrutura e execução das coberturas em bambu pelo Eng. Frederico Rosalino da Silva.

O primeiro edifício é o edifício central, cuja função é acolher reuniões e cursos de formação. O segundo é o edifício polivalente que suporta as funções do primeiro. O terceiro é para os banheiros e o último é uma área externa coberta para reuniões chamado "Oca", como é visto na figura 7.39.

Estratégias diversas de construção sustentável foram usadas neste projeto, tais como captação de águas pluviais, telhados verdes e tratamento de águas residuais para reutilização no local, foram utilizadas nestes edifícios.



Fig. 7.39 Edifícios do centro de referência [61]

As coberturas dos quatro edifícios foram projetadas e construídas com estruturas de bambu do gênero *Dendrocalamus asper*, por apresentarem caules de maior diâmetro, apresentarem menos fissuras neste clima após a construção e por serem encontrados em regiões próximas, ver figura 7.40.



Fig. 7.40 Coberturas dos edifícios do centro de referência [61]

O tratamento com bambu foi realizado por imersão em solução de ácido bórico e bórax. Para as ligações dos caules de bambu planejou-se padronizar a maioria deles em uma ligação do tipo "boca de peixe". Além disso, foi importante assumir o fabrico por módulos o que permitiu que a maioria das peças da estrutura fossem pré-fabricados para posterior montagem.

A maioria das conexões foram produzidas usando hastes de aço roscáveis. Os caules foram lixados levemente e revestidos com tinta para melhor proteção contra a luz do sol, umidade e fungos e também para evitar rachaduras.

Nas paredes de pau-a-pique foram utilizados resíduos de bambu provenientes dos restos das peças usadas na cobertura. Os colmos inteiros foram usados como montante da estrutura e para produção de ripas, com é visto na figura 7.41.



Fig. 7.41 Paredes de pau-a-pique [61]

8

CONCLUSÃO

8.1 Principais resultados obtidos

Neste capítulo final do trabalho são apresentados os resultados e conteúdos principais dos capítulos anteriores, de maneira resumida e realizando uma análise breve das conclusões mais relevantes sobre a utilização do bambu na construção civil sul-americana, com ênfase no Brasil.

A bibliografia na língua portuguesa sobre o bambu e suas utilizações na construção civil, se mostrou bastante limitada, sendo que as principais obras selecionadas foram na língua espanhola ou inglesa. De qualquer forma, foi possível notar um aumento significativo em produções literárias e acadêmicas sobre bambu no Brasil, principalmente a partir dos anos 2000.

A primeira conclusão que tirei deste trabalho é que, o bambu é uma gramínea incrível que pode se reproduzir assexuadamente e possui funções muito importantes nos ecossistemas naturais. No Brasil está presente em todos os estados, seja por espécies nativas ou por espécies que foram introduzidas. Uma boa parte das espécies exóticas são do tipo lenhoso e possuem alta aplicabilidade na construção. O bambu tem tais características que o tornam postulante ao título de "madeira do futuro".

Mesmo possuindo uma semelhança estrutural com a madeira, o bambu possui características que podem diminuir o seu uso correto e dificultar sua aceitação por principiantes no assunto na construção civil. Os diferentes comprimentos dos entrenós, a espessura da parede do colmo, além da idade do colmo, causa uma grande variabilidade nos valores obtidos nos testes de suas propriedades.

O Brasil abriga a maior floresta nativa de bambu do mundo, os *Guaduas* no Acre. Existem mais de duzentas espécies de bambu nativas no Brasil, verificando-se que grande parte delas são encontradas na Mata Atlântica o que torna esta região uma das zonas com maiores índices de endemismo dessa planta no planeta.

As primeiras espécies de bambus exóticos que chegaram ao Brasil foram trazidas pelos portugueses, durante o período de colonização, e estes ainda são importados, principalmente para fins paisagísticos. Dessas espécies introduzidas e cultivadas no Brasil, posso afirmar que possuem um grande valor econômico. São bambus com grande potencial de produção de produtos industrializados, derivados do bambu. Atualmente, existem apenas algumas plantações de bambu em grande escala no Brasil. As espécies cultivadas são predominantemente com rizomas paquimórficos (não alastrantes), altamente

produtivas e são geralmente utilizadas nas florestas plantadas brasileiras, principalmente dos gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus*.

Conhecidas popularmente como taquaras, taquaruçu ou taboca, o bambu, é classificado como uma palanta gigantesca gramínea, cuja principal característica é a presença de caules lignificados. Após a brotação, esses caules são cobertos por folhas especiais; As rizomas, que podem se comportar de duas formas básicas, não invasiva ou invasiva. Para este último tipo, temos de tomar cuidado ao plantá-lo, já que, por possuir rizomas alastrantes, ele se torna competidor muito eficiente com alto poder de crescimento, expansão e adaptação, e pode virar um problema por desequilibrar a flora local. As plantas de bambu possuem ramos, folhagem e flores, sendo que a sua floração pode ser anual, esporádica ou gregária.

No Brasil, o bambu é um elemento que é relativamente fácil de usar e de se encontrar, por estar em todo o território. Graças a essa ampla distribuição ele tem potencial de ser integrado facilmente nos costumes das comunidades rurais. Observei que um problema relatado por todos os que trabalham com o bambu é a falta de mão-de-obra qualificada e a falta de cursos de formação de profissionais que desejem trabalhar nessas áreas. Estes são os primeiros pontos a serem corrigidos, para que se consiga desenvolver o manejo e cultivo do bambu, que os sensibilizarão para os cuidados necessários para a obtenção de bons bambus para comercialização. Esse cuidado se estende desde a extração da matéria-prima até ao correto tratamento e secagem do material.

Existem diferentes métodos para o tratamento do bambu. Estes incluem os tratamentos naturais, aqueles que causam pouco danos ambientais, e tratamentos químicos que exigem a aplicação de produtos que por muitas vezes causam danos ambientais. Ficamos sempre nesse paradoxo de adotar técnicas menos agressivas para o meio ambiente e que são menos eficientes ou técnicas mais agressivas para a natureza mas que protegem melhor o bambu de xilófagos.

Para ter durabilidade semelhante às construções em madeira tradicionais, o bambu deve ser protegido de organismos xilófagos que comprometam sua integridade. Ainda há muito a ser estudado sobre os tratamentos para o bambu e, principalmente, sobre sua eficácia conforme o tipo de bambu e das condições de utilização, a fim de garantir uma vida útil mais longa. Sabe-se que alguns tratamentos químicos ainda são pouco eficazes, pois alguns compostos usados em soluções de preservação podem ser lixiviados, durante o uso.

Muitos processos e equipamentos não foram mencionados na dissertação, devido à infinidade de produtos processados de bambu. Produtos artesanais como as esteiras, precisam de menos investimento e na maioria dos casos o processo de fabricação é feito todo manualmente ou com equipamento simples e de custo baixo.

Produtos com maior industrialização, como o bambu laminado colado (BaLC) ou Plybamboo, exigem maiores investimentos e um melhor controle de processo. Em um piso, a resistência ao desgaste mecânico é tão importante quanto a estética e o acabamento superficial, e isso requer uma boa gestão de processo, que começa já na seleção da espécie, colheita dos bambus maduros até o revestimento final da superfície. Vale lembrar também que produtos com muitos processos precisam de uma grande escala de produção para possibilitar o negócio, sendo esta uma das principais limitações para a baixa industrialização do bambu.

É preciso desenvolver um sistema de produção eficiente e amplo que atenda aos diversos requisitos de quem deseja utilizar o bambu e seus derivados como matéria-prima básica. Um problema geral, principalmente para as pessoas que trabalham com o bambu, é que não existe uma sólida rede de fornecedores de matéria-prima em diferentes graus de processamento para o desenvolvimento de produtos e operação em bambu, assim como existe para a madeira.

Devemos lembrar que é necessário atender às demandas do consumidor, que nos últimos anos vem se preocupando em consumir produtos que causam menos impactos ao meio ambiente, e é nessa vertente que os produtores de bambu têm que trabalhar para conquistar esse público.

Apesar desta dissertação não ser focada na área ambiental, é importante lembrar que o uso de bambu em construções pode ajudar a reduzir os impactos ambientais e melhorar aspectos socioeconômicos das populações rurais onde a planta base existe em abundância. Para isso é necessário que os arquitetos e projetistas conheçam as propriedades do bambu e o adotem em seus projetos.

O uso de bambu em construções pode ajudar a reduzir o impacto ambiental dos edifícios quando usado em sua forma natural, quando menos energia é usada no processo de produção. Mesmo que a transformação da planta de bambu em materiais de construção, seja acompanhada com a adição de produtos químicos e mesmo que bambu tenha que passar por processos de transformação algo intrusivos e consumidores de energia, o material ainda pode contribuir para a redução do impacto ambiental como possibilidade de material renovável e à disposição em regiões rurais do Brasil.

O consumo mundial de bambu está crescendo gradativamente; no Brasil, no entanto, ainda é desvalorizado pelo consumidor brasileiro, pois seu conhecimento se limita à produção artesanal de itens simples e correntes tais como cestos. A utilização de produtos processados requer o desenvolvimento de tecnologias nos centros de produção, e as universidades exercem papel importante para esse desenvolvimento, devido às suas pesquisas que ajudam a divulgar esse conhecimento.

Dada a realidade habitacional brasileira, onde muitas vezes faltam moradias para a população, ter a possibilidade de construir uma casa em estrutura de bambu é um aspecto muito importante para uma parcela significativa da população de menor renda, tal como acontece em alguns países vizinhos sul-americanos.

A pormenorização construtiva da estrutura em bambu, apresentada nesta dissertação nos capítulos 6 e 7, serviu para mostrar que é possível construir uma casa em bambu, utilizando técnicas simples, materiais fáceis de serem encontrados no mercado e reduzindo o impacto no meio ambiente. A produção de casas-tipo em contexto normativo, tal como a que consta da norma peruana apresentada no capítulo 7, podem representar uma grande ajuda à expansão desta possibilidade.

Ainda que a utilização do bambu na construção civil no Brasil seja considerada recente, pude encontrar, em todas as regiões do país, edifícios e estruturas com as mais diversas funções nas quais esse material é utilizado. Na maior parte dos casos analisados, é dada atenção ao tratamento preservativo do bambu, antes da sua colocação na construção, e aos detalhes construtivos mais importantes a cumprir, tais como amplos beirais na cobertura e base alta (embasamento junto ao solo) para proteger os pilares e as paredes mistas de bambu das chuvas e, por consequência, aumentar a vida útil. Por se tratar de uma normalização relativamente recente, ainda é muito cedo para falar sobre a durabilidade dos pilares de bambu quando

executados de acordo com o prescrito nas normas estruturais aplicáveis (no caso desta dissertação analisaram-se exclusivamente as normas sul-americanas mais representativas).

As aplicações do bambu na construção civil vão desde aplicações estruturais simples (pilares) ou mistas (reforços estruturais em betão), em materiais compostos com ou sem adição de produtos químicos (parede de pau-a-pique), com maior (Plybamboo) ou menor grau de conversão (esteiras). No caso do Brasil, constatou-se que o bambu é utilizado principalmente na construção de coberturas em grandes edificações e, em construções vernaculares, são usados em quase todos os elementos da estrutura como: pilares, vigas, pisos, paredes, estrutura de cobertura e até mesmo revestimento da cobertura. Diferentes espécies de bambu foram usadas nas obras encontradas pelo Brasil e apresentadas nesta dissertação no capítulo 7. Isso mostra a disponibilidade de material em todas as regiões do país e a versatilidade do bambu.

Podemos notar polivalência do bambu em edifícios com diferentes aspectos arquitetônicas e estruturais, bem como com a utilização de obras móveis como na Cúpula do anfiteatro Junito Brandão da PUC - RJ (ver 7.4.1.2.1) e permanentes como no Albergue ecológico em Morro de São Paulo. Existem projetos com um enfoque ecológico, que poupam o uso do bambu, principalmente combinando-o com outros materiais naturais (madeira, barro) e preservando edifícios com formas naturais, e com uma linguagem arquitetônica única e natural. Em outros projetos, o bambu é combinado com materiais modernos (betão, metal), criando uma composição contemporânea em ambientes com muitos contrastes.

Em algumas regiões do país, pude encontrar uma maior quantidade de obras. Julgo que isso se deve principalmente à parte econômica, pois, construir com bambu ainda não é uma alternativa em geral corrente e economicamente viável, devido à ausência de materiais, mão de obra qualificada e de técnicos que dominem os processos construtivos a aplicar.

Outros pontos determinam também uma maior utilização do bambu nos Estados mais desenvolvidos do litoral o que pode parecer um contrasenso. Tal deve-se à possibilidade de contratar mão-de-obra especializada e materiais processados, apesar de a maior quantidade de bambus disponíveis, e de caules maduros e tratados existir em outras regiões do interior, como por exemplo no Acre.

As propriedades do bambu como material natural se tornam um obstáculo para os projetistas, principalmente, para realização de detalhamento da obra, ao longo da construção e com informações sobre comprimentos, diâmetros, ajustes, conexões e tolerâncias, que muitas vezes têm de ser revistas de acordo com a espécie escolhida para o projeto e os materiais (com diferentes comprimentos, diâmetros, espessuras de parede, distância entre nós, por exemplo) que efetivamente é possível encontrar para concretizar o projeto.

De qualquer forma, salienta-se que a produção e publicação recente da norma para construção com bambu no Brasil será com certeza um grande incentivo para que o setor se desenvolva mais, e para que o bambu passe a ser visto como uma opção de material de construção aceito no mercado, além dos tradicionais.

A produção corrente de materiais certificados e com características relativamente uniformes constitui uma necessidade fundamental com vista ao aumento do uso de colmos de bambu como um material estrutural. Daí talvez resulte o facto de a espécie *Guadua* ser a que é melhor conhecida e usada de forma sustentada na América do Sul, com destaque para a Colômbia, Perú e Equador.

É importante disseminar o conhecimento aos interessados por meio de artigos, trabalhos e principalmente agora com o apoio técnico da ABNT. Contudo, ainda há um grande caminho a percorrer para que o Brasil alcance um patamar de desenvolvimento e utilização corrente na construção de bambu, tal como o que atualmente já está presente em outros países da América do Sul, com destaque para os acima referidos.

Além das acima referidas duas normas brasileiras recentemente publicadas, associadas à avaliação da segurança estrutural e de métodos de ensaio, outras normas se fazem necessárias no Brasil tais como por exemplo: normas de caracterização e classificação de materiais em bambu e seus derivados, incluindo desempenho mínimo e características comportamentais das espécies mais usadas nas construções, processos e padrões para placas de aglomerados, bambu compensado, bambu laminado colado, reutilização de resíduos do fabrico, entre outros.

Novas tecnologias estão sendo aplicadas na produção de componentes com o bambu, seja por meio de laminação, aglomeração e prensagem e também estão sendo desenvolvidos materiais para revestimentos de pisos, paredes, esquadrias, tetos e coberturas.

Dentro dos pormenores construtivos, foi observado que estão presentes nas normas sul-americanas publicadas em espanhol um bom número de conexões entre as peças estruturais de bambu, e que obviamente vão muito além das apresentadas neste trabalho, sejam por amarrações (construções vernaculares) ou por peças metálicas (construções modernas). Esse constitui um manancial técnico absolutamente fundamental com vista a uma melhor uso do bambu no Brasil e que porventura fará também sentido “adaptar” à realidade brasileira e publicá-lo com caráter de urgência com caráter de “recomendações”, com ou sem suporte normativo.

A ligação que mais foi encontrada na pesquisa é a chamada “boca-de-peixe”. Além da cuidadosa preparação no corte do colmo logo acima de um diafragma, a colocação de barras rosqueadas de forma paralela e transversal ao colmo, previamente perfurado, seguido da colocação de argamassa, aumenta significativamente o desempenho estrutural do conjunto.

O desenvolvimento da cultura do bambu tem de acontecer em todos os setores de sua produção e entendo que não conseguiremos evoluir se um dos setores necessários (por exemplo o dos materiais certificados em bambu...) não estiver em desenvolvimento.

Só com base em conhecimento detalhado de cada espécie com interesse para a produção de materiais, suas propriedades, aplicação e controle das técnicas de construção, conexões, manufatura e novos equipamentos para processamento e beneficiamento, será possível desenvolver a construção em bambu no Brasil.

Nesta jornada de tornar o bambu uma opção na construção civil, nós engenheiros, arquitetos, técnicos temos o papel de buscar e explorar mais as possibilidades, criar formas e combinar o uso do bambu com tecnologias nos novos edifícios ou até mesmo em reabilitação que vamos desenvolver no futuro.

Devido a tudo isso que foi relato neste trabalho, acredito que não é à toa que o bambu está se desenvolvendo e é um dos materiais com maiores potencial para o futuro no Brasil, devido principalmente às suas diversas aplicações e benefícios ambientais e à sua elevada abundância na

natureza e facilidade de produção silvícola controlada. Um material que se desenvolve rapidamente e tem tanta variedade de usos não pode ser desconsiderado pelos projetistas.

Entende-se assim que é de responsabilidade da ciência e consumidores, explorarem da melhor maneira possível o seu potencial.

8.2 Desenvolvimentos futuros

Espero ter conseguido contribuir de alguma forma para a cultura e desenvolvimento do bambu na construção civil sul-americana, com ênfase no Brasil.

Como sugestão de pesquisas e trabalhos futuros sugiro a realização de levantamentos de mais obras em bambu e o acompanhamento das construções para se realizar uma avaliação de comportamentos estruturais, térmico, acústico, vida útil, entre outros.

De qualquer forma, o trabalho mais urgente que é necessário realizar é na área dos materiais de construção. Trata-se de catalogar e caracterizar sumariamente todos os materiais com origem em plantas de bambu existentes no Brasil com interesse para a construção (bem como para outras aplicações), identificando as suas propriedades físicas, mecânicas e de resistência e durabilidade, numa lógica pré-normativa, para que os arquitetos e engenheiros, entre outros possam de imediato escolher os materiais que necessitam usar nos seus projetos. Será também fundamental identificar classes de materiais em que os colmos se encaixem para que a especificação de elementos estruturais em bambu possa seguir um processo semelhante ao da madeira.

No fundo, para que possa ser usado de forma mais intensa e economicamente interessante, o bambu terá de seguir um percurso semelhante ao da madeira, tanto ao nível dos bambus “maciços”, como dos derivados de bambu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bambusoideae_World_map.png. Data de acesso: 16/03/2021
- [2] Lopez, O. H.; *Bamboo - The Gift of the GODS* , 2003
- [3] Oliveira, A.C.A. *Efeitos do bambu Guadua weberbaueri Pilger sobre a fisionomia e estrutura de uma floresta no sudoeste da Amazônia*. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 84p. 2000
- [4] <https://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html>. Data de acesso: 20/03/2021
- [5] CALDERON, C. E. & SODERSTROM, T. R. 1980. The genera of Bambusoideae (Poaceae) of the American continent. *Smithsonian Contrib. Bot.* 44: 1-27.
- [6] Clark, Lynn G. (1990). *Diversity and biogeography of neotropical bamboos (Poaceae: Bambusoideae)*. *Acta Botanica Brasilica*, 4(1), 125-132. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-33061990000100009>
- [7] SODERSTROM, T. R.; JUDZIEWICZ, E. J. & CLARK, L. G. 1988. Distribution patterns of neotropical bamboos. In: VANZOLINI, P. E. & HEYER, R. E. (eds.). *Proceedings 01 a Workshop on Neotropical Distribution Patterns*. p. 121-157. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro
- [8] Judziewicz, E.J.; Clark, L.G.; Londoño, X.; Stern, M.J. 1999. *American bamboos*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.
- [9] Londoño, X. 1990. Estudio botánico, ecológico, silvicultural y económico-industrial de las Bambusoideae de Colombia. *Cespedesia*, 16/17, 51-78.
- [10] LONDOÑO, X. Distribuição, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues de lo Nuevo Mundo. In: III CONGRESO COLOMBIANO DE BOTÁNICA, 2004, Popayan. *Anais...* Popayan, 2004. 25p.
- [11] [http://english.cas.cn/newsroom/archive/research_archive/rp2017/201707/t20170714_179680.shtml#:~:text=Paleotropical%20woody%20bamboos%20\(PWB\)%20belongs,of%20Asia%2C%20Africa%20and%20Oceania.&text=The%20PWB%20includes%20the%20largest,as%20Dendrocalamus%20sinicus%20and%20D](http://english.cas.cn/newsroom/archive/research_archive/rp2017/201707/t20170714_179680.shtml#:~:text=Paleotropical%20woody%20bamboos%20(PWB)%20belongs,of%20Asia%2C%20Africa%20and%20Oceania.&text=The%20PWB%20includes%20the%20largest,as%20Dendrocalamus%20sinicus%20and%20D). Data de acesso: 21/03/2021
- [12] Filgueiras, T. S., & Santos-Gonçalves, A. P. (2015). Tupi-Guarani: fonte de informações sobre bambus nativos do Brasil. *Heringeriana*, 1(1), 35-41. <https://doi.org/10.17648/heringeriana.v1i1.115>
- [13] COUTO, H. H. do. *Ecolinguística: estudo das relações entre língua e meio ambiente*. Brasília, Ed. Thesaurus. 2007, 462p.

- [14] https://www.planfor.es/Donnees_Site/Produit/HTML/po_Bambou%20Bambu%20Bamboo%2016.html. Data de acesso: 26/03/2021
- [15] Shalini, A., Meena, R. K., Tarafdar, S., Thakur S. (2013) Evaluation of Genetic Diversity in Bamboo through DNA Marker and Study of Association with Morphological Traits. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2(8), p. 78-83
- [16] Clark, L.G., Dransfield, S., Triplett, J. Sánchez-Ken, J. G. (2007) Phylogenetic relationships among the one-flowered, determinate genera of Bambuseae (Poaceae: Bambusoideae) In: Columbus J.T., Friar E.A., Hamilton, C.W., Porter J.M., Prince L.M. and Simpson M.G. Eds. Monocots: Comparative Biology and Evolution—Poales, p. 315-332
- [17] FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P.L. Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação In: DRUMOND, P.M.; WIEDMAN, G. (Org.). Bambus no Brasil – Da Biologia à Tecnologia. ICH-Instituto Ciência Hoje, p. 10-27, RJ, 2017.
- [18] https://www.123rf.com/photo_14021777_cropped-dry-bamboo-root-in-white-background.html. Data de acesso: 27/03/2021
- [19] <https://gardenerdy.com/types-of-bamboo/>. Data de acesso: 27/03/2021
- [20] <https://www.bamboo-inspiration.com/golden-bamboo.html>. Data de acesso: 27/03/2021
- [21] <https://www.bamboobotanicals.ca/html/about-bamboo/bamboo-growth-habits.html>. Data de acesso: 27/03/2021
- [22] Soderstrom, Thomas R., and Cleofe E. Calderon. "A Commentary on the Bamboos (Poaceae: Bambusoideae)." Biotropica, vol. 11, no. 3, 1979, pp. 161–172.
- [23] <http://www.shweeashbamboo.com/bamboo%20care%20and%20maintenance.htm>. Data de acesso: 27/03/2021
- [24] <https://india.mongabay.com/2018/04/bamboo-blooms-in-odisha-sanctuary-but-rat-boom-and-crop-damage-need-not-be-a-given/>. Data de acesso: 27/03/2021
- [25] LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. Beijing, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 1998. 203 p
- [26] https://www.researchgate.net/publication/334821424_MATHEMATICAL_ALGORITHM_TO_OPTIMISE_BAMBOO_SPLITTING_FOR_STRIP_PRODUCTION/figures?lo=1. Data de acesso: 10/03/2021
- [27] https://www.researchgate.net/publication/330405600_Microimaging-informed_continuum_micromechanics_accurately_predicts_macroscopic_stiffness_and_strength_properties_of_hierarchical_plant_culm_materials/figures?lo=1. Data de acesso: 10/03/2021

- [28] Luis, Z. G. L.; Nogueira, J. S.; Ribeiro, D. G.; Scherwinski-Pereira, J. E. Drumond, P. M.; Wiedman, G. (Org.). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2017. p. 42-59
- [29] <http://apuama.org/>. Data de acesso: 10/03/2021
- [30] Tang, T. K. H. *Preservation and drying of commercial bamboo species of Vietnam*. Dissertação de Doutorado. Universidade Hamburg, 2013, 107p
- [31] https://www.researchgate.net/publication/277784792_Density_distribution_profile_for_internodes_and_nodes_of_Phyllostachys_edulis_Moso_bamboo_by_computer_tomography_scanning/figures?lo=1. Data de acesso: 15/03/2021
- [32] Beraldo, A. L.; Carbonari, G.; Propriedades anatômicas, físicas, químicas, mecânicas do bambu e ensaios para sua determinação. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 43p -69p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.
- [33] <https://www.guaduabamboo.com>. Data de acesso: 16/03/2021
- [34] Beraldo, A. L.; Aleixo, L.R.P. *Bambu: características e aplicações na construção civil e em arquitetura* - 1.ed. - Bauru, SP: Canal6, 2019.108 p.
- [35] Ostapiv, F.; Os Principais bambus do Brasil. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 13p - 28p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.
- [36] Oliveira, D.; Ribeiro, NP.; Cereda, M.P.; Cultivo, manejo e colheita do bambu. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. 28p - 41p. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ, ICH, 2017
- [37] Oliveira, V.; Librelotto, L.I.; Ferroli, P.C.M.; A cadeia produtiva do Bambu. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 81p - 114p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.
- [38] Lama, L.A.D.L.; Menchaca, D.L.; *Manual para la construcción con Bambú*. Cidade do México, México, 2017
- [39] Carbonari, G.; Librelotto, L.I.; Tratamento e preservação dos colmos. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 115p - 126p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.
- [40] <http://www.bamboodna.com>. Data de acesso: 30/04/2021
- [41] YU, X. *Bamboo: structure and culture: utilizing bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions*. Dissertação de Doutorado. Universität Duisburg, Essen, 178 f. 2007.
- [42] SOUZA, A.M. de. *Os Diversos Usos do bambu na Construção Civil*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil. 2014.

- [43] Teixeira, A.A... *PAINÉIS DE BAMBU PARA HABITAÇÕES ECONÔMICAS: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa*. Dissertação de mestrado. Universidade De Brasília - UNB /FAU - Faculdade De Arquitetura E Urbanismo. 2006
- [44] Salamon, C.; Ostapiv, F.; Processos de manufatura para o bambu. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 127p - 150p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.
- [45] GHAVAMI, Khosrow. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Pontifícia Católica. Rio de Janeiro. 2003
- [46] MARÇAL, V. H. S. Uso do Bambu na Construção Civil. Dissertação de graduação. Universidade de Brasília, Departamento de engenharia Civil e Ambiental. Dezembro 2008
- [47] Lopez, O. H. Manual de Construcción com Bambú. Editores Estudios Técnicos Colombianos Ltda, Colombia.
- [48] Ordóñez, V. R., Mejía, M. T., & Bárcenas, G. M. Manual para la construcción sustentable con bambú. México: Comisión Nacional Forestal. 2013
- [49] Ubidia, J. M. Manual de construcción. Construir con bambú “caña de guayaquil”. Red Internacional de bambú y Ratán, INBAR. 2015.
- [50] Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10. Título G - Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua, Capítulo G.12- Estructuras de Guadua. Colômbia, 2010
- [51] Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC - Estructuras de Guadúa (GAK). Equador, 2017.
- [52] Reglamento Nacional de Edificaciones: norma NTE E.100 Bambú. Peru, 2012.
- [53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-1: Estruturas de bambu - Parte 1: Projeto. Em consulta pública. Rio de Janeiro, 2020. 31p.
- [54] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-2: Estruturas de bambu – Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Em consulta pública. Rio de Janeiro, 2020. 17p
- [55] <http://www.irarquitectura.com/filter/construido/universo-pol>. Data de acesso: 30/06/2021
- [56] Oliveira. T. F. C. S. SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Janeiro 2006
- [57] Benavides, A. J.; Lisbôa, S.; Construção com Bambu no Brasil. *Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. 115p - 126p. Florianópolis, UFSC/Virtuhab, 2019.

[58] <http://amima-arquitetura.com.br/projetos/institucional/centrodeculturamaxfeffer>. Data de acesso: 10/07/2021

[59] <http://bambutec.com.br/anfiteatro-puc-rio/>. Data de acesso: 10/07/2021

[60] <https://www.semmuros.com/oficina-ekoa-park>. Data de acesso: 11/07/2021

[61] CARDOSO, R. J. *Arquitetura com Bambu*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 109 f, 2000

[62] Presidência da República. (2011, setembro. 8) *Lei nº 12484*. Dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências. [Online]. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm.