

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração desta dissertação revelou ser uma travessia morosa e pejada de dificuldades, que culmina com o sucesso ambicionado.

Aos meus pais, que providenciaram todas as condições, materiais e emocionais, para a obtenção do meu êxito pessoal.

Ao meu irmão mais novo, pela compreensão e motivação dada.

À minha namorada de longa data, pelo apoio e inspiração permanentes.

Ao Professor Doutor Amorim Faria, meu orientador, pela sua paciência, abertura e compreensão.



## RESUMO

A construção é, no seu âmago, um processo que origina uma solução heterogénea de materiais, que permitem assegurar o conforto, a segurança ou a higiene, individualmente, ou todas em simultâneo. A evolução dos próprios materiais, desde os naturais aos sintéticos, e das técnicas empregues, sofreu uma evolução notável, aspeto que merece atenção e estudo. A opção recaiu, quase sempre, nos materiais que ofereciam melhores condições em termos absolutos, desadequando-se, em alguns dos casos, às circunstâncias existentes. Contudo, a tendência tem vindo a mudar, e se antes a perspetiva económica era subjugada para segundo plano em muitas das vezes, atualmente, com o panorama económico existente, esse fator ganha particular importância. Nesse sentido, o bambu surge como uma alternativa aos materiais correntes.

O campo de aplicação do bambu é vasto, estendendo-se a vários setores e a múltiplas utilizações. Tal deve-se ao somatório da sua estética atrativa, das suas características intrínsecas e do seu reduzido custo. Estas características podem ser aplicadas na indústria da construção e, nesse sentido, este tema justifica ser abordado e estudado.

A presente dissertação aborda as potencialidades da aplicação do bambu na indústria da construção, verificando a sua adequabilidade e viabilidade na composição integral de uma edificação ou numa composição combinada com outros materiais.

É realizada uma introdução por forma a elucidar o leitor para alguns dados que se revelarão importantes na compreensão da restante dissertação. Posteriormente é realizada uma caracterização biológica do bambu como planta, no sentido de se perceber o seu comportamento típico e as respetivas variações associadas às diferentes características entre espécies e espécimes.

Depois, é realizada uma caracterização do colmo, material de construção fundamental que resulta da planta do bambu, tal como a madeira resulta da árvore. Abordam-se as suas características mecânicas, a sua forma de obtenção e o tratamento necessário.

Posteriormente são tratadas 3 formas de integração do bambu na construção: sob a forma de componentes processados, em construções vernaculares, ou como material alternativo ao aço de reforço do betão armado. Estas 3 abordagens permitem perceber parte do processo evolutivo da integração do bambu na indústria da construção, e o seu desenvolvimento ao longo dos tempos.

Não foram realizados ensaios laboratoriais, nem existiu observação direta deste tipo de soluções. Foram recolhidos dados científicos sustentados, que permitem uma total perceção do funcionamento deste material.

Por fim, são detalhadas as conclusões suscetíveis de ser retiradas da investigação realizada no âmbito desta dissertação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bambu, Construção, Estruturas Vernaculares, Sustentabilidade.



## **ABSTRACT**

The construction is, at its core, a process which results in a heterogenic solution of materials, that ensures the comfort, security and hygienic environment, individually, or all in simultaneous. The evolution of materials, since the natural ones to the synthetics, and the techniques used, had a remarkable development that deserves an appropriate study. Eventually, the best materials were always chosen without regarding the most adequate solution to the surrounding scenario. However, that tendency began changing and, if previously the economic factor was a secondary concern, nowadays, with the actual economic condition, that point arises as fundamental. So, bamboo appears as an alternative to the material currently used.

The types of appliance for bamboo are immense, spreading over different business sectors and multiple uses. Such thing relates with the sum of its good appearance, its natural properties, and its reduced cost. Those properties can be applied in the construction and, so, this theme justifies its reference and study.

The current thesis addresses the potentialities of the bamboo appliances in the construction industry, verifying its suitability e viability as a single component of a building or as part of a combined solution among other materials.

It is made an introduction in order to aware the reader about some important data in the understanding of the remaining chapters. After that, the bamboo as plant, is described biological, to allow the understanding of its typical behavior and the respective variations associated to different properties between different species and specimens.

Then, it is made a description of the culm, main construction material that results from the plant of bamboo, as the timber results from the trees. Mechanical properties, production, and preservative treatments are the themes approached.

In the following, the thesis focuses on three different ways of integration of bamboo in construction: as an industrially processed element, in rudimentary buildings, and as an alternative material to steel of concrete reinforcement. Those 3 approaches allow the understanding of the evolutionary process of bamboo integration in construction industry, and the respective development over time.

Laboratory tests weren't done; neither there was direct observation of the natural environment in which these solutions are used. Trustworthy data was assembled and filtered, which allow a correct perception of the natural functioning of the bamboo.

In the end, the conclusions of the investigation done in the thesis scope are properly detailed.

**KEY-WORDS:** Bamboo, Construction, Rudimentary Structures, Sustainability.



## ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Bambu em Portugal e Etimologia .....	2
1.3. Objeto.....	2
1.4. Âmbito .....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.6. Metodologia e bases Bibliográficas.....	3
1.7. Organização e estrutura.....	3
<b>2. CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA DA PLANTA DE BAMBU ..</b>	<b>5</b>
2.1. Introdução.....	5
2.2. Definição geral do bambu .....	6
2.3. Identificação Botânica .....	6
2.4. Aspetos Fisiológicos.....	7
2.4.1. Crescimento e Desenvolvimento.....	7
2.4.2. Flor.....	8
2.4. Aspetos Morfológicos .....	10
2.4.1. Rizomas .....	10
2.4.2. Colmo.....	11
2.5. Aspetos Anatômicos .....	11
2.6. Espécies de Bambu.....	13
2.6.1. <i>Phyllostachys Pubescens</i> .....	13
2.6.2. <i>Bambusa balcoa</i> e <i>Dendrocalamus balcoa</i> .....	14
2.6.3. Bambu Apus ( <i>Bambusa bambos</i> b. <i>Arundinacea</i> e <i>b.spinosa</i> ).....	14
2.6.4. Bambu-Gigante ( <i>Dendrocalamus giganteus</i> e <i>B. Gigantea</i> ).....	14
2.6.5. <i>Guadua Angustifolia</i> .....	15
2.6.6. <i>Guadua Aculeata</i> .....	15
2.6.7. Bambu-listrado ( <i>Bambusa Vulgaris</i> ).....	15

2.6.8. Bambusa Polymorpha.....	16
2.6.9. Bambusa Tulda .....	16
2.6.10. Dendrocalamus Asper .....	16
2.6.11. Bambu Maciço (Dendrocalamus strictus) .....	16
2.6.12. Gigantochloa Apus .....	17
2.6.13. Gigantochloa Levis .....	17
<b>3. O COLMO DE BAMBU .....</b>	<b>19</b>
3.1. Introdução.....	19
3.2. Colheita do bambu – Quando e Como? .....	19
3.2.1. Sinais de Maturação .....	20
3.3. A Secagem .....	21
3.3.1. Introdução .....	21
3.3.2. A Secagem Natural.....	22
3.3.3. Cura ou Transpiração Pós-Colheita .....	23
3.4. Preservação e tratamentos .....	23
3.4.1. tratamento por Imersão.....	24
3.4.2. tratamento por Fumagem.....	25
3.4.3. Tratamentos Químicos.....	26
3.4.4. Tratamento em Tanque a céu aberto .....	26
3.4.5. Tratamento de fundo .....	26
3.4.6. tratamento através do Método Boucherie.....	27
3.5. Estrutura celular .....	28
3.6. Composição Química .....	28
3.7. Propriedades Físicas .....	30
3.8. Propriedades Mecânicas.....	31
<b>4. COMPONENTES EM BAMBU .....</b>	<b>35</b>
4.1. Introdução.....	35
4.2. Componentes Tradicionais em Bambu.....	35
4.2.1. Telha Longa .....	35
4.2.2. Telha em Lanceta.....	36
4.3. Painéis de Bambu.....	36
4.3.1. Contraplacado de entrelaçado de bambu.....	37
4.3.2. Contraplacado de camadas de bambu.....	38

4.3.3. Painéis de Bambu Aglomerado de Densidade Média - MDF .....	38
4.4. Cobertura - CBRS.....	40
4.4.1. Fabrico .....	41
4.4.2. Vantagens e Desvantagens .....	41
4.4.3. Conclusões.....	42
4.5. Bambu Lamelado Colado - BLC.....	42
4.5.1. Fabrico e Produção .....	42
4.5.2. Vigas de bambu lamelado colado .....	43
<b>5. ESTRUTURAS VERNACULARES EM BAMBU .....</b>	<b>45</b>
5.1. Introdução.....	45
5.2. Valores das propriedades mecânicas a usar no cálculo .....	45
5.3. Soluções Construtivas.....	45
5.3.1. Andaimos .....	46
5.3.2. Fundações.....	47
5.3.3. Pavimentos.....	51
5.3.4. Paredes.....	55
5.3.5. Coberturas.....	59
5.3.6. Construções rurais.....	64
5.3.7. Pontes e Passagens Pedonais .....	66
5.4. Ligações .....	69
5.4.1. Regras de Execução de Ligações.....	69
5.4.2. Tipos de Ligações.....	71
5.5. Normas e Regulamentos.....	78
5.5.1. Normas ISO.....	78
5.5.2. Normas Chinesas .....	78
5.5.3. Normas Sul-Americanas .....	79
5.6. Bambu Certificado .....	79
5.6.1. Certificado FSC .....	79
5.6.2. Marcação CE.....	79
5.6.3. Outras certificações .....	79
<b>6. ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM BETÃO ARMADO COM BAMBU .....</b>	<b>81</b>
6.1. Introdução.....	81

6.2. Preparação das “armaduras” em bambu .....	81
6.3. Pilares de betão armado com bambu .....	82
6.4. Vigas de betão armado com bambu .....	83
6.5. Lajes de betão armado com bambu.....	84
6.6. Vantagens e Desvantagens.....	85
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Localização geográfica do bambu .....	1
Figura 1.2. Esquema geral da divisão da dissertação em capítulos .....	4
Figura 2.1. Esquema simplificado da estrutura do capítulo 2 .....	5
Figura 2.2. Estrutura geral do bambu .....	6
Figura 2.3. Esquema da Categorização do Bambu no Reino Vegetal .....	7
Figura 2.4. Florescimento Contínuo do Bambu .....	8
Figura 2.5. Florescimento Gregário do Bambu .....	9
Figura 2.6. Bambu seco após o Florescimento .....	10
Figura 2.7. Rizoma Monopodial .....	11
Figura 2.8. Rizoma Simpodial .....	11
Figura 2.9. Anatomia do Bambu .....	12
Figura 2.10 - <i>Olyrae</i> vs <i>Bambuseae</i> .....	13
Figura 2.11. Bambu <i>Phyllostachys Pubescens</i> .....	14
Figura 2.12. - Espécies supracitadas: <i>Bambusa balcoa</i> , Bambu Apus, Bambu-Gigante, <i>Guadua Angustifolia</i> .....	15
Figura 2.13 - <i>Guadua Aculeata</i> .....	15
Figura 2.14. - <i>Bambusa Vulgaris</i> .....	15
Figura 2.15 - <i>Bambusa Polymorpha</i> .....	16
Figura 2.16- <i>Bambusa Tulda</i> .....	16
Figura 2.17 – <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	16
Figura 2.18 – <i>Dendrocalamus strictus</i> .....	17
Figura 2.19 - <i>Gigantochloa Apus</i> .....	17
Figura 2.20 - <i>Gigantochloa Levis</i> .....	17
Figura 3.1. - Colheita do Bambu .....	19
Figura 3.2. Sinais de Maturação do Bambu .....	21
Figura 3.3. - Secagem ao ar livre .....	22
Figura 3.4. – Armazenamento e secagem natural do bambu .....	22
Figura 3.5 Esquema da Transpiração Pós- Colheita .....	23
Figura 3.6. – Transporte de aglomerados de bambu.....	24
Figura 3.7. – Imersão do bambu.....	25
Figura 3.8. Fumagem do Bambu .....	25
Figura 3.9. – Tratamento Químico do Bambu .....	26
Figura 3.10. Tratamento de fundo .....	27

Figura 3.11. Esquema do Método Boucherie .....	27
Figura 3.12. Estrutura celular do colmo .....	28
Figura 4.1. – Cobertura em meias canas de bambu .....	36
Figura 4.2. – Cobertura de telha em lanceta .....	36
Figura 4.3. Contraplacado de entrelaçado de bambu .....	37
Figura 4.4. – Contraplacado de camadas de bambu .....	38
Figura 4.5.- Processo de Produção dos Painéis de bambu aglomerado.....	40
Figura 4.6. – Placa de Bambu Ondulado .....	41
Figura 4.7. – Prensagem da Placa .....	41
Figura 4.8. - Processo de Produção do Bambu Lamelado Colado .....	42
Figura 4.9. – Bambu Lamelado Colado .....	43
Figura 4.10. – Viga de bambu lamelado colado .....	44
Figura 5.1. - Andaime de camada simples .....	46
Figura 5.2. - Andaime de camada dupla .....	46
Figura 5.3. – Esquema de uma fundação de um colmo assente num bloco de betão .....	48
Figura 5.4. – Esquema de uma fundação de um colmo incorporado num bloco de betão .....	48
Figura 5.5. – Fases de Construção de um pilar .....	49
Figura 5.6. – Esquema dos três tipos de rotura .....	50
Figura 5.7. – Esquema de uma fundação de um compósito de bambu e betão .....	50
Figura 5.8. – Esquema de uma estrutura de pavimento de bambu nº1 .....	51
Figura 5.9. – Esquema de uma estrutura de pavimento de bambu nº2 .....	52
Figura 5.10. – Esquema de pavimento de colmos de pequeno diâmetro .....	52
Figura 5.11. – Esquema a de pavimento de metades de colmos de bambu .....	53
Figura 5.12. – Esquema de pavimento de placas de bambu desenrolado .....	53
Figura 5.13. – Padrões de esteiras de bambu manufaturadas .....	54
Figura 5.14. – Esquema de pregagem das esteiras ao pavimento .....	55
Figura 5.15. – Esquema de uma parede de colmos inteiros .....	56
Figura 5.16. - Esquema de uma parede de metades de colmos .....	56
Figura 5.17. - Esquema de uma parede de Bajareque .....	57
Figura 5.18. - Esquema de uma parede de malha larga .....	58
Figura 5.19. - Esquema de uma parede de malha larga .....	58
Figura 5.20 - Esquema estrutural de treliça .....	60
Figura 5.21. – Esquema de treliça de King-Post de 4 metros.....	61
Figura 5.22. – Esquema de treliça de Fink de 4 metros .....	61
Figura 5.23. – Esquema de treliça melhorada de Janssen de 8 metros .....	61

Figura 5.24. – Esquema de cobertura tradicional .....	62
Figura 5.25 – Cobertura de camada dupla .....	63
Figura 5.26. – Esquema de Cobertura de Camada Dupla .....	63
Figura 5.27 – Esquema de uma cobertura de telhas em lanceta .....	64
Figura 5.28 – Habitação de estrutura vernacular de bambu .....	65
Figura 5.29. – Estufa com estrutura em bambu .....	65
Figura 5.30. – Esquema de estrutura de ponte pedonal .....	66
Figura 5.31. – Esquema de estrutura de ponte do carrinho de mão .....	67
Figura 5.32 – Esquema de estrutura de ponte de pequeno tráfego .....	68
Figura 5.33 – Estrutura de Ponte de treliça Simples .....	68
Figura 5.34.- Esquema da estrutura de uma ponte Pylon .....	69
Figura 5.35 - Cortes de ligações do Bambu. O corte boca de peixe está realçado .....	70
Figura 5.36 – Reforço dos colmos .....	71
Figura 5.37 - Andaime em Bambu com Ligações em fio de aço .....	71
Figura 5.38 – Tipos de amarração .....	72
Figura 5.39 - Junta de Topo .....	73
Figura 5.40 – Tipos de Junta de União .....	73
Figura 5.41 - Ligação Interior em Madeira .....	74
Figura 5.42 – Junta expansível de plástico .....	75
Figura 5.43 – Junta de Aço moderna.....	76
Figura 5.44 – Esquema da Primeira Junta de inserção em Aço .....	76
Figura 5.45 - Ligação Tubular pré-moldada .....	77
Figura 5.46. – Tala de união em madeira .....	77
Figura 5.47. - Marcação USDA.....	79
Figura 5.48. - Marcação OCIA.....	79
Figura 6.1. – Esquema de produção de varões de bambu .....	81
Figura 6.2. – Pilar Cilíndrico armado e cofrado em bambu.....	82
Figura 6.3. – Provetes de Ensaio .....	82
Figura 6.4. – Ensaio dos Pilares armados com bambu .....	83
Figura 6.5. - Viga armada com Bambu .....	83
Figura 6.6. – Cofragem em Bambu.....	84
Figura 6.7. - Esquema de Reforço da Laje .....	84
Figura 6.8. – Antes e Depois da Betonagem .....	85



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. – Comparação da composição aproximada do Bambu com a Madeira.....	29
Tabela 3.2. – Variação da composição química em altura .....	29
Tabela 3.3. – Tabela Comparativa das Propriedades Mecânicas do Bambu.....	31
Tabela 3.4. – Caraterização mecânica do bambu com variação do teor em água .....	32
Tabela 3.5. - Caraterização mecânica do bambu com variação da idade e da zona do colmo.....	33
Tabela 4.1. – Propriedades físicas e mecânicas de um painel de bambu aglomerado .....	39



## 1

## INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

Atualmente, particularmente no ramo da construção, o conceito de sustentabilidade apresenta uma importância crescente no cotidiano do setor. Nesse sentido são insistentemente procuradas soluções, componentes e materiais cujas características inerentes permitam que a sua inserção num ambiente construtivo, garanta o aumento da ambicionada sustentabilidade. Existe uma gama vasta e variada de produtos que atualmente estão devidamente integrados no ramo da construção com a apropriada regulamentação nacional e internacional que, apesar de tudo, ficam aquém da sustentabilidade pretendida. O bambu surge, então, como uma das matérias-primas mais sustentáveis.

O bambu é uma planta da família das Gramíneas, à semelhança do arroz, milho ou trigo, de folha perene, altamente resistente e de regeneração rápida, que se insere na subfamília *Bambusoideae*. No âmbito do conhecimento científico mundial generalizado, não se conhece nenhuma planta capaz de igualar a taxa de crescimento de uma planta de bambu, dentro de um período de 24 horas. A acelerada taxa de renovação da planta associada à “teimosia” em se debater, de forma bem-sucedida, contra fenómenos naturais cuja força devasta tudo à sua passagem, torna o bambu um material apetecível na execução de uma construção que se foque na economia e segurança do utilizador. O bambu, com mais de 1500 espécies, é uma planta que protege o ambiente circundante dos ventos e precipitações intensas, permitindo o desenvolvimento e propagação de outras espécies, tanto vegetais como animais. O bambu, independentemente da espécie, é nativo de todos os continentes do planeta, com exceção para o continente europeu, com principal proliferação entre as latitudes 50° sul e 50° norte. A sua altura e diâmetro variam mediante a espécie, conforme se aborda no capítulo 2.

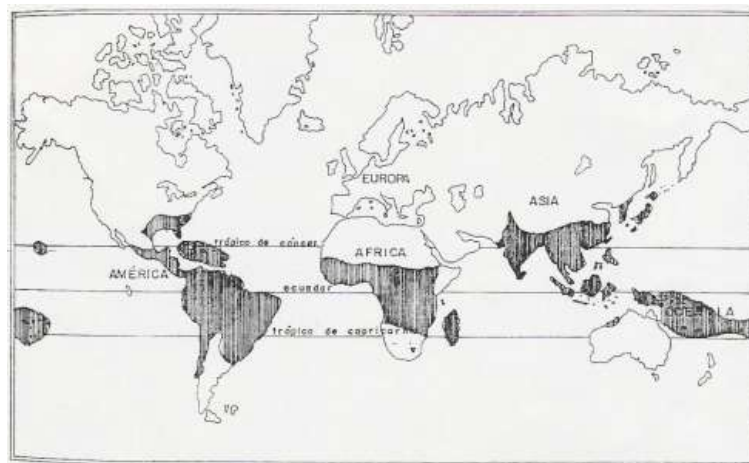


Figura 1.1. Localização geográfica do bambu [12]

Apesar da introdução do bambu na construção moderna elaborada se tratar de um acontecimento relativamente recente, o aproveitamento para a execução de estruturas rudimentares, tipicamente localizadas em zonas rurais, remonta há cerca de 5 milénios atrás. Com principal incidência nas zonas rurais dos países do sudeste asiático, o bambu foi um elemento perdurante nas construções indispensáveis ao quotidiano das populações, nomeadamente nas habitações, vedações, instalações para pecuária e na conceção de pontes ou de passagens pedonais. Tal incidência deve-se, primordialmente, à abundância localizada da matéria-prima e à tradição construtiva local.

Os motivos científicos da escolha do bambu e respetiva aplicação escaparam, naturalmente, a muitas gerações de habitantes das zonas onde a tradição construtiva supracitada impera. As aplicações dadas ao bambu resultaram, fundamentalmente, de experiências empíricas até se atingirem as soluções otimizadas atualmente conhecidas. Dessa perspetiva científica, e conforme se aborda no capítulo 2, já se verificou, laboratorialmente, que o bambu é uma matéria-prima satisfatória do ponto de vista construtivo.

Essa tradição construtiva será, possivelmente, um dos grandes obstáculos a vencer na implementação do bambu noutros países, como material de utilização recorrente na construção. Esses obstáculos também terão sido experimentados por outros materiais usados atualmente, pelo que é aceitável supor que será apenas uma questão de tempo até a integração atingir um nível satisfatório.

## **1.2. BAMBU EM PORTUGAL E ETIMOLOGIA**

A designação bambu é proveniente do Malaio, idioma do povo que habita na península de Malaca, nas ilhas da Malásia e Tailândia. No século XVI, época dos Descobrimentos, os navegadores Portugueses “importaram” a planta e a palavra, permanecendo a designação inalterada até à atualidade. No entanto, a verdadeira origem da palavra é um mistério para os etimologistas. Consta-se, segundo relatos antigos, que o Bambu era utilizado, particularmente, em fogueiras inerentes a cerimónias religiosas. Era crença geral que, o barulho provocado pela queima dos nós do bambu afastaria os maus espíritos, permitindo que os Deuses atendessem às preces dos crentes. Os barulhos citados, o “BAM” e o “BU” deram então origem à designação da planta conforme a conhecemos atualmente.

## **1.3. OBJETO**

A presente dissertação, intitulada de “Utilização de Bambu na Construção”, incide nas aplicações dadas ao bambu, a matéria-prima em estudo, abrangendo soluções dispersas temporalmente, dado que o bambu tem sido utilizado desde os primórdios da Humanidade até atualmente.

O nível tecnológico empregue evoluiu de forma natural e como tal, nesta dissertação a abordagem é feita desde as soluções vernaculares, executadas com base nos conhecimentos obtidos empiricamente e transmitidos geracionalmente, passando pelos componentes empregues atualmente, até betão armado com bambu.

## **1.4. ÂMBITO**

As características, os processos e aplicações do bambu são de uma elevada vastidão, tornando-se inexequível abordar todas elas num documento deste género. Atentando a que o bambu tem mais de 1500 espécies, existe em 4 dos 5 continentes mundiais e é utilizado há cerca de 5000 anos em

variadíssimos setores de atividade, foi necessário proceder a uma restrição do âmbito destas vertentes. A dissertação foca-se na espécie *Phyllostachys Pubescens*, apesar de se abordarem outras espécies no ponto 2.6. Geograficamente, os temas abordados relacionam-se com tradições e práticas asiáticas e sul-americanas. Temporalmente, a abordagem tida, visa estabelecer a distinção entre soluções vernaculares e soluções modernas. Relativamente aos setores de atividade, restringiu-se o âmbito desta dissertação aos processos diretamente associados à construção, ignorando as utilizações do bambu para fins de produção de mobiliário, produção de papel ou fins alimentares, pelo que se remetem esses tópicos para estudos futuros.

### **1.5. OBJETIVOS**

Atentando ao fato de, em Portugal, o conhecimento tecnológico relativo ao bambu e às suas potencialidades construtivas ser, de forma geral, reduzido, o objetivo primordial desta tese, é a sensibilização do leitor para essas características, amplamente difundidas nos países onde se verifica uma tradição deste tipo de construção e a abundância da matéria-prima em estudo.

Nesse sentido, e como objetivo secundário, é realizada a definição do bambu, como planta, abordando as suas características físicas, fisiológicas, e químicas, para permitir o enquadramento devido do material, e sustentar cientificamente o comportamento do material para uma variedade de cenários possíveis. É também realizada uma abordagem do colmo, a forma de o transformar em material de construção e respetivo comportamento, com o intuito de transmitir algumas das características intrínsecas do material no sentido de proporcionar um raciocínio lógico orientado para o enquadramento do material num cenário de construção.

Após a definição do bambu como planta e como material de construção, os capítulos centrados nas aplicações à construção visam dar a conhecer algumas hipóteses de soluções construtivas, inovadoras relativamente à construção tradicional portuguesa, e assim aumentar o espectro de conhecimentos do leitor para as alternativas existentes.

### **1.6. METODOLOGIA E BASES BIBLIOGRÁFICAS**

A presente dissertação realizou-se em 3 fases distintas. A primeira fase consistiu numa pesquisa generalizada sobre o bambu, permitindo aferir a extensão da informação existente e respetiva incidência, permitindo a definição do âmbito. Numa segunda fase, a informação recolhida na primeira fase foi filtrada. Foram removidas os dados cujas fontes eram de credibilidade e sustentação científica reduzida ou inexistente, e as informações irrelevantes para o âmbito definido. Na terceira fase foi realizada uma estruturação da informação por forma a obter a disposição lógica atual da dissertação, tentando uma transmissão célere das ideias fundamentais.

A informação foi recolhida, fundamentalmente, de teses de mestrado e doutoramento maioritariamente internacionais, ou de livros e manuais de construção também internacionais. Alguns dos pontos basearam-se em testemunhos transmitidos pessoalmente, ou em experiências pessoais documentadas e publicadas em páginas da Internet.

### **1.7. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA**

A presente dissertação divide-se em 7 capítulos, estruturados com os objetivos propostos.

O Capítulo 1, o presente, foca-se na apresentação geral da dissertação com destaque para a caracterização do bambu nas perspetivas geral, histórica e etimológica, e no objetivo do trabalho.

No Capítulo 2 define-se, de forma tão exaustiva quanto adequada, o bambu como planta, classificando-o e categorizando-o no reino vegetal, e abordando os seus aspetos fisiológicos, morfológicos e anatómicos. No final do capítulo, é realizada uma breve descrição das espécies de bambu mais relevantes para o ramo da construção.

O Capítulo 3 incide sobre o colmo, o material de construção proveniente da planta do bambu. Neste ponto abordam-se os conhecimentos inerentes ao processo de transformação da matéria-prima em material de construção, através da explicação dos processos de colheita, de secagem e dos tratamentos aplicáveis. São também descritas as novas propriedades mecânicas e físicas resultantes da transição para material de construção, assim como a estrutura celular relevante.

O Capítulo 4 foca-se nos componentes processados em bambu, ou seja, resultantes de um processo de produção relativamente elaborado, comparativamente com os utilizados nas estruturas vernaculares em bambu.

O Capítulo 5 é direcionado para as construções vernaculares em bambu, abordando as soluções construtivas executadas, as ligações utilizadas e a regulamentação associada. Mais especificamente, este capítulo foca-se no tipo de construção tradicional em bambu que continua a ser utilizada em zonas subdesenvolvidas.

O Capítulo 6 concentra-se na utilização do bambu como alternativa aos materiais de reforço correntemente utilizados, no fabrico de betão armado, designadamente o aço. Explica o processo de obtenção dos elementos reforçados com bambu, e o resumo dos estudos laboratoriais realizados, que certificam a sua adequabilidade.

No Capítulo 7 detalham-se as conclusões tiradas ao longo da dissertação.

O esquema da figura que se segue permite uma perceção facilitada da estrutura geral da dissertação.



Figura 1.2. Esquema geral da divisão da dissertação em capítulos

# 2

## CARATERIZAÇÃO BOTÂNICA DA PLANTA DE BAMBU

### 2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo aborda o bambu na perspetiva botânica, ou seja, do ponto de vista da planta, enquadrando-a no reino vegetal e definindo os seus aspetos fisiológicos, anatómicos e morfológicos. No ponto 2.7. analisam-se algumas das espécies de bambu relevantes para a construção civil. O esquema que se segue permite uma melhor perceção da estrutura do presente capítulo.

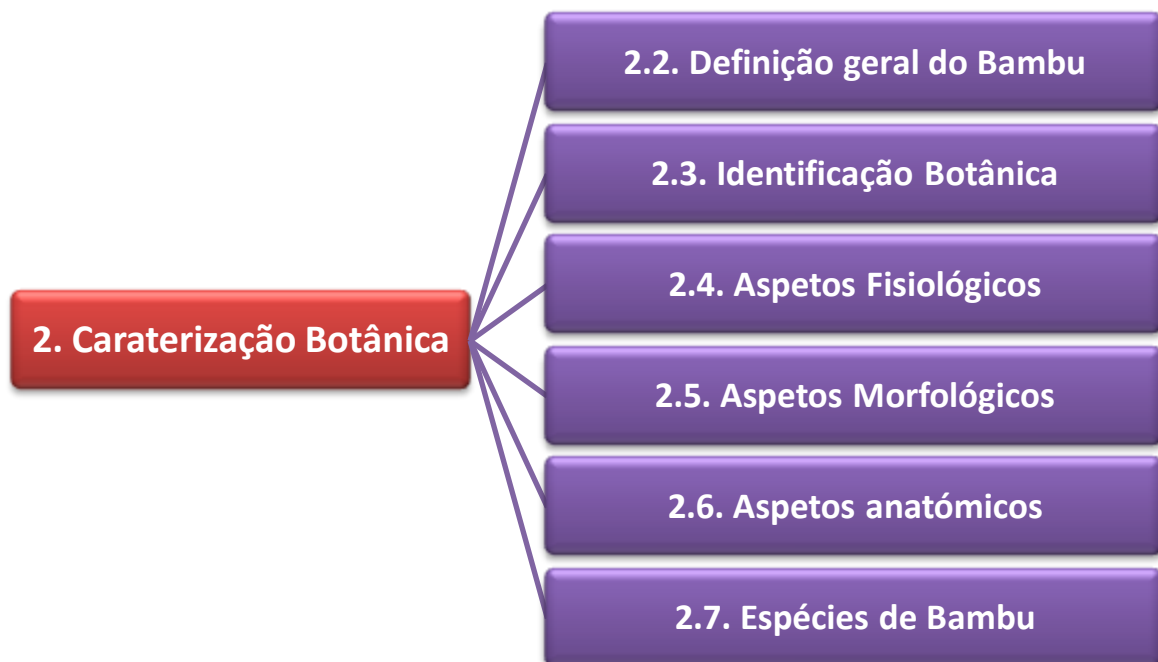


Figura 2.1. Esquema simplificado da estrutura do capítulo 2

## 2.2. DEFINIÇÃO GERAL DO BAMBU

A estrutura do Bambu é constituída por um sistema subterrâneo de rizomas, os colmos e os galhos, sendo a formação de todos estes componentes baseada no mesmo sistema: uma série alternada de nós, zonas massivas de tecido que compreendem o anel nodular, o anel da bainha e a gema dormente, e os entrenós que são envolvidos por uma folha caulinar protetora.

Conforme é possível visualizar na figura 2.2., normalmente os rizomas proporcionam o crescimento de um primeiro colmo e, normalmente no ano seguinte permitem a formação de um segundo colmo que partilha a estrutura subterrânea com o primeiro. O processo repete-se sucessivamente até que a estrutura esgote o nível máximo de exploração do solo. Nos pontos seguintes definem-se os conceitos abordados neste ponto.

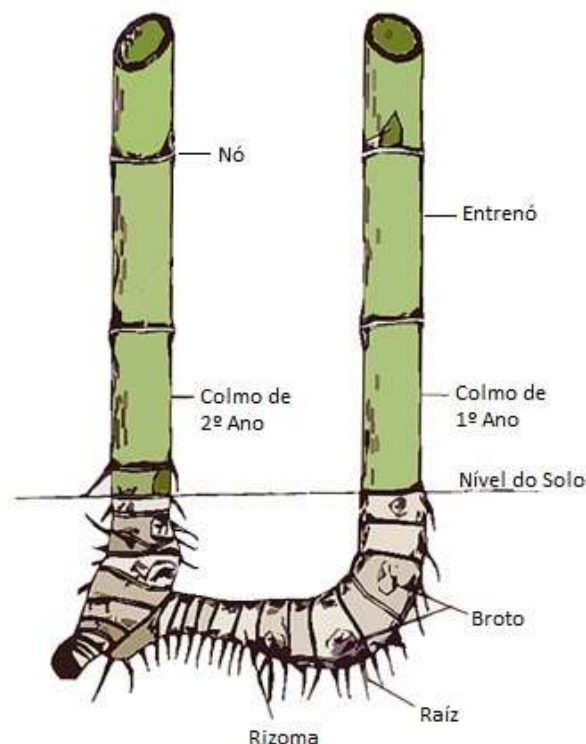


Figura 2.2. Estrutura geral do bambu [24]

## 2.3. IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA

Como ser vivo, o Bambu (*Bambusoideae*) está devidamente categorizado consoante as suas especificidades gerais e origem, dividindo-se posteriormente de acordo com os tipos de bambu. Ao nível do domínio está definida como eucariota (*Eukaryota*) por se tratar de um organismo provido de um núcleo celular rodeado por uma membrana. O reino vegetal (*Plantae*) é a subcategoria na qual, à semelhança de todas as outras plantas, o bambu está inserido. Seguem-se por ordem decrescente na hierarquia categórica a Superdivisão Espermatófita (*Spermatophyta*), por ser uma planta que produz sementes, a Divisão Angiosperma, pelo fato de as suas sementes estarem protegidas, a Classe Monocotiledónea (*Liliopsida*), por só possuir uma folha na altura da germinação das sementes, a

Subclasse *Commelinidae* de acordo com o seu sistema taxonómico, a Ordem *Poales*, e a família Gramíneas (*Poaceae*) precisamente por se tratar de um tipo de relva ou grama. Observe-se a Figura 2.3. para uma melhor perceção desta definição [2].

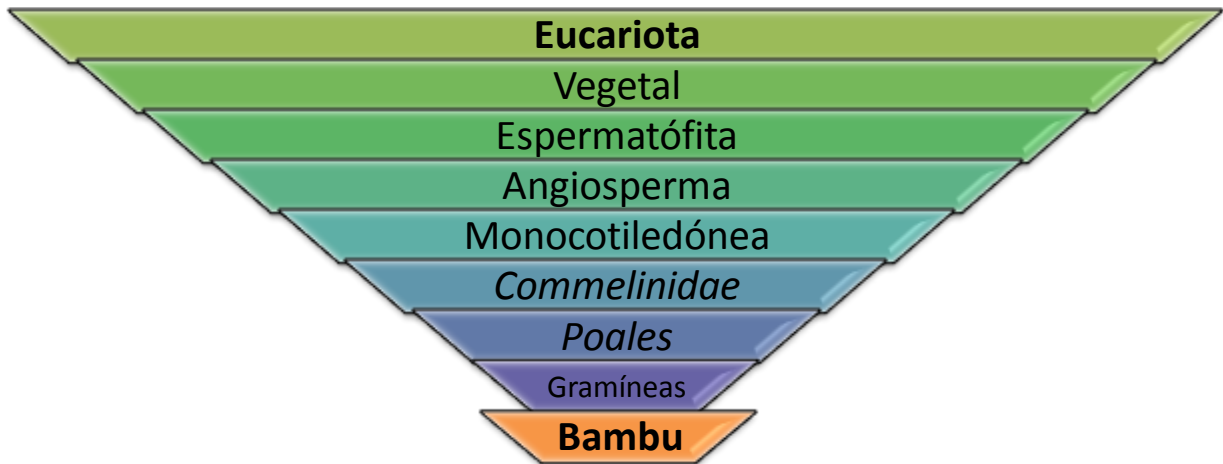


Figura 2.3. Esquema da Categorização do Bambu no Reino Vegetal

A categoria dos bambus pode ainda ser dividida em duas grandes subcategorias: os herbáceos *Olyrae* e os lenhosos *Bambuseae*.

## 2.4. ASPETOS FISIOLÓGICOS

Fisiologicamente, e superficialmente, o bambu é constituído por lâminas tubulares e por folhagem diversificada, a qual não é mais do que a extensão das folhas caulinares, as protetoras dos entrenós. Esses dois componentes têm, naturalmente, origem na estrutura subterrânea, referida no segundo ponto deste capítulo [2] [5].

### 2.4.1. CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

O crescimento em altura do Bambu é variável mediante a espécie em estudo, podendo ir desde os 94 centímetros por dia no caso do Bambu-gigante a um crescimento na ordem da dezena de centímetros mensal em espécies menores.

A variação do ritmo de crescimento do bambu é indicadora de um mecanismo de sobrevivência: a estrutura subterrânea à base de rizomas, que se desenvolvem durante o Outono e Inverno, para armazenamento de nutrientes que permitam um crescimento acelerado durante a Primavera, no sentido de atingir a altura máxima possível, de forma célere e eficaz, para que as novas folhas possam captar a radiação solar e conseqüentemente realizar a fotossíntese.

As folhas localizam-se nas zonas mais altas do espécime, para obterem a melhor insolação possível, e os colmos apresentam uma forma reta para um suporte eficaz e para garantir o transporte célere dos nutrientes.

## 2.4.2. FLOR

Todas as 1500 espécies de bambu conhecidas até à data têm diferentes hábitos e intervalos de florescimento, não havendo dados científicos concretos que permitam aferir os motivos dessas características pois alguns dos ciclos de floração estão intervalados de algumas décadas.

Enquanto os *Olyrae* florescem anualmente nos meses de Dezembro e Janeiro, os *Bambusae* raramente florescem, apresentando ciclos de floração que variam entre os 20 e os 120 anos, podendo morrer após esse fenómeno por razões que em seguida se explicam.

Existem 3 tipos de florescimento no bambu os quais variam em larga medida com as espécies e circunstâncias: O florescimento Contínuo, o florescimento Esporádico e o florescimento Gregário [14] [15] [16] [24].

### a) FLORESCIMENTO CONTÍNUO

O florescimento contínuo ou anual ocorre na maioria das espécies herbáceas do bambu, e pontualmente em algumas das espécies lenhosas. A produção, ano após ano, não provoca qualquer alteração visível na planta, no entanto as sementes produzidas são de viabilidade reduzida, não permitindo a proliferação da espécie.

Este tipo de florescimento pode, ao nível individual da planta e na mesma floresta, ocorrer em períodos diferentes intervalados até 2 meses. De referir também que, algumas espécies apresentam floração durante todo o ano, sem consequências para o desenvolvimento da planta.



Figura 2.4. Florescimento Contínuo do Bambu [24]

### b) FLORESCIMENTO ESPORÁDICO

O florescimento esporádico ocorre apenas em alguns espécimes da mesma zona florestal, sendo habitualmente causado por fatores ambientais, tais como ciclos de seca, gelo ou pragas, descartando-se qualquer relação com a mecânica rotineira da planta. Este tipo de florescimento é um mecanismo de defesa da própria planta na procura da manutenção da sua espécie. Algumas das espécies de bambu, podem apresentar, durante o seu ciclo de vida, dois tipos de florescimentos: o esporádico e o gregário.

O florescimento esporádico raramente provoca a morte da planta, mas as sementes são também de viabilidade muito reduzida.

### c) FLORESCIMENTO GREGÁRIO

A maioria das espécies de bambu lenhoso, *Bambuseae* está sujeita a um florescimento gregário. O florescimento gregário é um fenômeno no qual todos os espécimes da mesma espécie florescem simultaneamente, independentemente da localização geográfica e das condições climáticas, morrendo alguns anos mais tarde. Os ciclos de florescimento gregário variam consoante a espécie, e de forma geral situam-se entre os 20 e os 120 anos.

Por outras palavras, quando uma determinada espécie de bambu inicia o florescimento gregário, este ocorre em todo o Mundo, durante um período de vários anos, até que toda a floresta tenha morrido. Dado que o estado de maturação pode estar mais atrasado em alguns espécimes, a floresta pode demorar vários anos até morrer.

De ressaltar que em algumas espécies, ainda que muito raramente, a estrutura subterrânea pode sobreviver permitindo uma regeneração natural da planta.

A causa do florescimento gregário é de origem genética, ao contrário do florescimento esporádico. No entanto, a comunidade científica não conseguiu ainda desvendar a verdadeira razão na base desse fenômeno.



Figura 2.5. Florescimento Gregário do Bambu [24]

### d) PORQUE MORRE O BAMBU APÓS O FLORESCIMENTO?

São duas, entre muitas, as teorias mais plausíveis para a justificação da morte do bambu após o florescimento. A primeira teoria defende que a produção de flor e sementes requer o dispêndio de uma quantidade de energia tão elevada que provoca a respetiva morte.

A segunda teoria estabelece que a planta mãe morre por forma a providenciar um ambiente otimizado para o desenvolvimento das sementes produzidas, facilitando-lhes o acesso a água, nutrientes e luz solar que de outra forma seriam amplamente utilizados pela planta adulta.



Figura 2.6. Bambu seco após o Florescimento [24]

#### e) CONSEQUÊNCIAS DO FLORESCIMENTO GREGÁRIO

O florescimento em massa, respectiva produção de sementes e consequente morte de uma área florestal vasta, tem impactos ao nível socioeconómico e ao nível ecológico. Por um lado, a grande quantidade de sementes produzidas é um atrativo para grandes populações de ratos e outros roedores, os quais devastam as produções agrícolas na zona e propagam várias doenças nas populações residentes na área. Por outro lado, a morte do bambu retira o acesso das populações a um material fundamental na conceção das suas casas e estruturas de produção agrícola.

Foram várias as tentativas feitas no sentido de revitalizar as populações de bambu após o florescimento, mas poucos foram os casos que culminaram em sucesso.

## 2.4. ASPETOS MORFOLÓGICOS

Conforme foi abordado nesta dissertação até este ponto, o bambu possui mecanismos que lhe permitem sobreviver sob condições adversas, podendo dar continuidade à sua espécie ao longo de milénios. Entre o florescimento esporádico e a estrutura subterrânea de suporte, o bambu conseguiu proliferar e manter-se globalmente. Dado que o florescimento esporádico já foi explanado devidamente no ponto anterior, passa-se em seguida a descrever a estrutura subterrânea e superficial [13].

### 2.4.1. RIZOMAS

O rizoma é um caule subterrâneo alongado, tuberoso, com disposição mais ou menos horizontal e folhas reduzidas a escamas. Este componente armazena substâncias de reserva permitindo a sobrevivência da planta de uma estação para a outra e, no caso do bambu, a propagação vegetativa. O rizoma prepara o crescimento do bambu ao multiplicar-se subterraneamente, promovendo não só a oferta de alimento mas também a fixação ao solo.

Os rizomas podem ser divididos em dois grandes grupos:

**Monopodial** – rizomas longos e finos que crescem horizontalmente, em climas amenos, por longas distâncias, e que por ano podem aumentar o seu comprimento em 1-6 metros;

**Simpodial** – rizomas curtos e grossos que crescem radialmente em curtas distâncias, sendo característicos de climas tropicais.

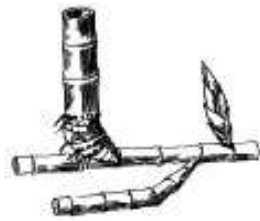


Figura 2.7. Rizoma Monopodial [13]



Figura 2.8. Rizoma Simpodial [13]

#### 2.4.2. COLMO

O colmo é um caule de nós salientes e folhas invaginantes característico das plantas gramíneas, como é o caso do bambu. É através do colmo que é feita a distinção entre as diferentes espécies, sendo as características deste, altamente variáveis conforme é perceptível através da leitura da descrição das várias espécies de bambu abordadas no ponto 2.6.

Ao nível da aparência variam a espessura, a altura, o diâmetro, a coloração, a curvatura e até o odor.

O colmo é composto por entrenós e nós. O crescimento do colmo inicia-se no rizoma, permanecendo subterrâneo durante vários anos, os inerentes ao crescimento dos brotos. O diâmetro exterior da estrutura posterior do colmo (os entrenós e nós) define-se na totalidade durante esta fase, crescendo para dentro ao longo do seu desenvolvimento à superfície.

#### 2.5. ASPETOS ANATÓMICOS

A anatomia do bambu tem uma ampla influência nas suas propriedades físicas e mecânicas. Como tal, é relevante abordar este ponto de caracterização para uma melhor compreensão do bambu na perspetiva da planta.

Concretamente, as características do colmo são definidas pela sua forma, tamanho, orientação e número de feixes vasculares, ou seja, pela sua estrutura anatómica. O colmo é, na maioria das vezes, de diâmetro regular até 75% da sua altura, com posterior estreitamento até ao topo, e apresenta uma secção transversal com a geometria de uma coroa circular [2] [13].

Com o amadurecimento da planta, a parede celular tende a aumentar para dentro, o diâmetro dos veios tende a diminuir, o que resulta num aumento da densidade do colmo e respetivo incremento das propriedades mecânicas.

A um nível macroscópico, o valor da massa específica está diretamente relacionado com o diâmetro das fibras e da espessura das paredes, características que influenciam a resistência mecânica do material.

Tipicamente, uma planta de bambu que se desenvolva em terrenos íngremes e com escassez de água, proporcionará um colmo mais resistente do que uma planta que cresça num terreno plano e húmido. Tal relaciona-se com o teor em água do primeiro que será substancialmente menor, e consequentemente a densidade será maior.

A um nível microscópico, de uma qualquer secção transversal do colmo de um bambu, é possível observar uma disposição celular lógica, contribuindo para o funcionamento otimizado da planta. Segundo *Zhang (2001)*, a secção transversal de um bambu *Bambusae* ou lenhoso, o grupo relevante para este estudo, pode ser dividida em 3 secções principais:

- **Pele** – o córtex da secção transversal do colmo. Uma camada exterior estanque, que permite o controlo da humidade ao nível da absorção e expulsão.
- **Madeira** – é o componente situado entre a pele e a medula. Apresenta feixes vasculares, sistema de transporte de água e nutrientes, e tecidos de parênquima de preenchimento para ocupação dos espaços entre os outros tecidos e do córtex. Os tecidos de parênquima, juntamente com as fibras, formam a estrutura fundamental do colmo.
- **Medula** – a medula é a superfície interna das paredes de bambu, a qual, apresentando também tecido de parênquima de preenchimento, não possui feixes vasculares.

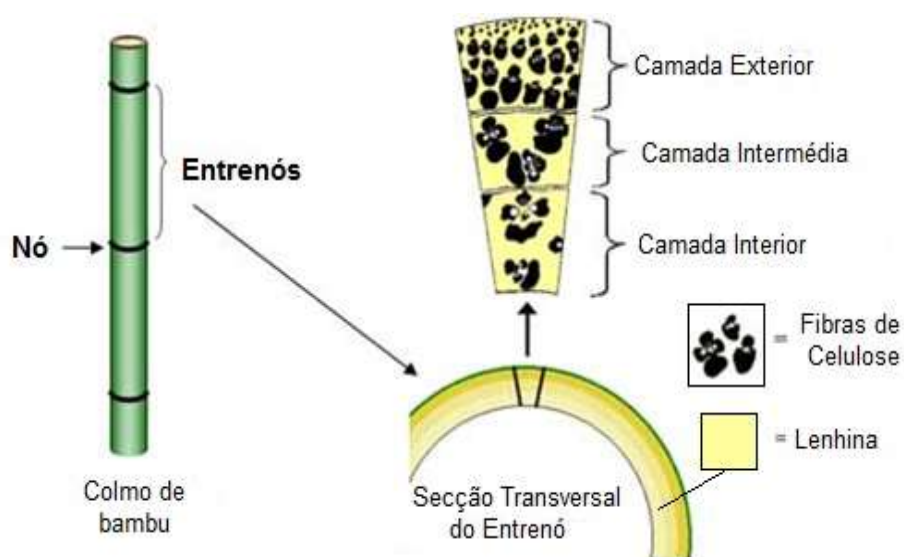


Figura 2.9. Anatomia do Bambu [1]

## 2.6. ESPÉCIES DE BAMBU

Conforme foi supra referido, dentro da subfamília do Bambu existirão dois grandes grupos: o *Bambuseae* ou lenhosos, os mais interessantes e adequados para a Construção Civil, e os *Olyrae* ou herbáceos. Apesar desta divisão, estima-se que existam cerca de 1250 espécies de bambu. Apesar de a presente dissertação centrar-se na espécie *Phyllostachys Pubescens*, é relevante referir outros tipos de espécies, conforme se segue [2] [5] [6] [10].



Figura 2.10 - *Olyrae* vs *Bambuseae* [6]

### 2.6.1. PHYLLOSTACHYS PUBESCENS

O bambu designado cientificamente de *Phyllostachys Pubescens*, e em linguagem corrente chinesa Mao Jue, é uma espécie originária da China que foi exportada para todo o Mundo durante os Descobrimentos, tendo-se desenvolvido nos climas Equatorial, Oceânico, Subtropical e Tropical.

É um tipo de bambu com rizoma leptomorfo, ou seja, com rizoma florestal. Floresce a cada 67 anos, pelo que é difícil observar a sua floração. Após a floração, toda a área circundante morre, conforme foi explicado no ponto 2.4.2.d).

Esta espécie desenvolve-se, preferencialmente, em solos permeáveis e férteis, e luz solar intensa. Reproduz-se pela emissão de novos colmos pelo seu rizoma simpodial (ponto 2.4.1.), que serão tanto mais grossos e mais altos, quantos mais colmos o rizoma tiver emitido anteriormente. A grossura do broto é a grossura definitiva, e logo que as primeiras folhas pereçam, não crescerá mais em altura.

Não se desenvolve em espaços interiores, a menos que esteja bem iluminado naturalmente. Plantado em campo aberto, atinge a sua altura máxima, e dura em média 12 anos. Os seus brotos servem de alimento na cozinha oriental.

Resumindo, é uma espécie que atinge os 20 metros de altura e um diâmetro limite de 18 centímetros. Os colmos são muito resistentes e apumados e cultiváveis em terrenos até aos 1500 metros de altitude. É utilizado na conceção de estruturas médias na construção civil e no desenvolvimento de utensílios de uso doméstico.

É nesta espécie que a doravante a dissertação se vai concentrar.



Figura 2.11. Bambu *Phyllostachys Pubescens* [24]

#### 2.6.2. BAMBUSA BALCOA E DENDROCALAMUS BALCOOA

Com alturas próximas dos 30 metros, diâmetro entre os 8 e os 15 centímetros, entrenó de extensão máxima de 45 centímetros, e espessura de 2,5 centímetros, esta espécie, de cor cinzento esverdeado, apresenta-se como uma estrutura de resistência mediana. É uma planta de clima tropical, tipicamente situada em zona de monções, plantada até uma altitude de 700 metros. Pode ser utilizada para estruturas de resistência média, como pequenas pontes, escadarias ou andaimes. É também utilizada para mobiliário de boa qualidade, e utensílios variados. Os brotos e as folhas são comestíveis.

#### 2.6.3. BAMBU APUS (BAMBUSA BAMBOS B. ARUNDINACEA E B.SPINOSA)

Com um colmo reto e muito luminoso que pode atingir os 30 metros de altura, um entrenó de extensão máxima igual a 40 centímetros e diâmetro variável entre os 15 e os 18 centímetros, esta espécie desenvolve-se, fundamentalmente, em climas equatoriais e tropicais com preferência para solos ácidos. Desenvolve-se até aos 1200 metros de altitude e suporta uma temperatura ambiente limite de -2°C. É usado para regeneração de terrenos, nas indústrias do mobiliário, cervejeira e papel. Pode também ser utilizado para utensílios de construção.

#### 2.6.4. BAMBU-GIGANTE (DENDROCALAMUS GIGANTEUS E B. GIGANTEA)

É a espécie conhecida que atinge as maiores dimensões, podendo chegar aos 60 metros de altura, 25 centímetros de diâmetro, 3 centímetros de espessura e 50 centímetros de extensão do entrenó. Pela sua elevada resistência mecânica é frequentemente usada para a conceção de colunas e vigas no âmbito estrutural. Em âmbitos distintos, é utilizada na produção de papel, mobiliário, aglomerados e derivados, e ainda como alimento altamente nutritivo.

### 2.6.5. GUADUA ANGUSTIFOLIA

Este bambu é uma espécie Sul-Americana que se caracteriza por apresentar uma forte capacidade de regeneração, alterando o seu estado de maturidade em períodos muito curtos. A perda de resistência mecânica com o envelhecimento avançado, torna recomendável o corte durante uma fase avançada da maturação, de idade igual aos 3-4 anos. Pelos elevados índices de resistência mecânica, é a melhor espécie para empregar na construção civil. Desenvolve-se em terrenos de altitude entre os 900 e os 1600 metros, com temperaturas que oscilam entre os 20°C e os 28°C e humidades relativas de 80%. É amplamente utilizado na construção de habitações e infraestruturas médias, reforço de muros de contenção de terra e/ou betão armado.



Figura 2.12. - Espécies supracitadas: *Bambusa balcoa*, Bambu Apus, Bambu-Gigante, *Guadua Angustifolia* [6]

### 2.6.6. GUADUA ACULEATA

Com altura média de 20 metros, diâmetro máximo de 25 centímetros, espessura máxima de 3 centímetros, e uma extensão de entrenós que varia entre os 22 e os 30 centímetros, esta espécie oferece as condições necessárias para a construção de habitações, conforme faziam as tribos sul-americanas antes dos descobrimentos. Trata-se da espécie com a maior espessura de parede e a menor extensão dos entrenós, conferindo-lhe uma elevada resistência mecânica, principalmente ao momento fletor e transverso. É uma espécie pouco estudada por se localizar em zonas subdesenvolvidas de países da América Central, sendo atualmente utilizada em construção rural (Figura 2.13.).



Figura 2.13 - *Guadua Aculeata* [10]

### 2.6.7. BAMBU-LISTRADO (*BAMBUSA VULGARIS*)

Espécie de dimensão média que se desenvolve em grupos de arbustos pouco densos, podendo atingir os 20 metros de altura. O entrenó tem extensão compreendida entre os 25 e os 35 centímetros e diâmetro variável de 5 a 12 centímetros. É a espécie que mais proliferou à escala global, conforme sugere o seu nome científico (Figura 2.14.).

A sua empregabilidade é vasta. É de utilização muito usual, em zonas rurais, para conceção de pequenas edificações, nas indústrias do mobiliário, papel, farmacêutica, e artesanato. Pela sua coloração é usada para ornamentação, e pela sua resistência razoável para a sustentação de pequenas construções em terrenos inclinados



Figura 2.14. - *Bambusa Vulgaris* [10]

#### 2.6.8. BAMBUSA POLYMORPHA

Espécie de altura máxima igual a 25 metros, com um diâmetro superior a 15 centímetros e espessura igual a 2 centímetros. Cresce, habitualmente, em zonas com humidade média e terrenos férteis. De resistência média é utilizado como material de construção, e nas indústrias do papel, e mobiliário de qualidade média (Figura 2.15.).

#### 2.6.9. BAMBUSA TULDA

Com altura máxima de 30 metros, diâmetro variável entre os 5 e os 10 centímetros, espessura fina de 0,7 centímetros no máximo, e uma extensão de entrenó que pode atingir os 60 centímetros no máximo, esta espécie necessita de um clima equatorial para se desenvolver. É habitualmente utilizada para utensílios e mobiliário (Figura 2.16.).

#### 2.6.10. DENDROCALAMUS ASPER

Esta espécie apresenta colmos que oscilam entre os 20 e os 30 metros de altura, sendo os seus entrenós de extensão variável entre os 20-45 centímetros. O diâmetro pode atingir uma dimensão máxima de 20 centímetros. Desenvolve-se, habitualmente, em climas semiáridos e em terrenos ricos situados até aos 1500 metros de altitude.

É um dos materiais utilizados para a construção de grandes estruturas comunitárias em zonas rurais, devido à sua grande resistência e durabilidade. É igualmente utilizado para mobiliário, instrumentos musicais, e utensílios vários (Figura 2.17.).



Figura 2.15 - Bambusa Polymorpha [6]



Figura 2.16- Bambusa Tulda [5]



Figura 2.17 – Dendrocalamus Asper [5]

#### 2.6.11. BAMBU MACIÇO (DENDROCALAMUS STRICTUS)

Com altura entre os 8 e os 20 metros, diâmetro entre os 2,5 e os 8 centímetros, e entrenós entre os 30 e os 40 centímetros, o bambu maciço é uma espécie que prolifera nos países do sul da Ásia, em particular nas florestas das zonas semiáridas, com crescimento particularmente acelerado nas zonas tropicais húmidas e altitudes até aos 1200 metros.

É utilizado na construção de estruturas importantes como pontes e andaimes. É também utilizado, em larga escala, na indústria do mobiliário e na indústria da produção de papel (Figura 2.18.).

### 2.6.12. GIGANTOCHLOA APUS

De aspeto esbelto, esta espécie atinge os 30 metros de altura em contraponto com o reduzido diâmetro máximo de 13 centímetros e a espessura média de 1,5 centímetros. Apresenta uma elevada flexibilidade, permitindo a conceção de arcos e curvaturas. É usado em artesanato e como elemento secundário na conceção de coberturas (Figura 2.19.).

### 2.6.13. GIGANTOCHLOA LEVIS

Esta espécie, ainda mais esbelta que a anterior apresenta uma altura média de 30 metros, diâmetro aproximado de 6 centímetros e espessura de 1,2 centímetros. Desenvolve-se em terrenos férteis localizados em climas tropicais húmidos. É utilizado na realização de estruturas flexíveis, e em utensílios de uso doméstico (Figura 2.20.).



Figura 2.18 – *Dendrocalamus strictus* [5]



Figura 2.19 - *Gigantochloa Apus* [5]



Figura 2.20 - *Gigantochloa Levis* [10]



# 3

## O COLMO DE BAMBU

### 3.1. INTRODUÇÃO

O colmo, em inglês *culm*, é a matéria-prima base de toda a construção em bambu que tem origem na planta do bambu. É o resultado da submissão da planta a processos ancestrais, quase artesanais, complementados por métodos atuais e modernos, que englobam o corte, a secagem e os tratamentos de preservação. No final, após a execução destes processos, resulta uma matéria-prima sustentável, económica e de fácil manuseamento, conforme se perceberá pelos pontos seguintes.

### 3.2. COLHEITA DO BAMBU – QUANDO E COMO?

O *timing* desempenha um papel fundamental no manuseamento do bambu, em particular na sua colheita. Está provado, cientificamente, que nos casos em que a colheita não é realizada de forma correta, e prazo adequado, o bambu (caso não seja tratado) deteriorar-se-á de forma bastante mais rápida e torna-se mais atrativo para os fungos. Pelo contrário, se os parâmetros referidos forem cumpridos, a resistência e durabilidade dos troncos aumenta. Este fenómeno justifica-se pelo facto de o bambu possuir grandes quantidades de amido na sua composição, o qual constitui o principal chamariz para fungos e insetos. Quando estamos perante boas práticas de colheita, este nutriente será drenado corretamente até que o tronco a título individual deixe de ser suscetível a essas ameaças [17] [18].



Figura 3.1. - Colheita do Bambu [24]

Naturalmente, os níveis de amido variam mediante a estação do ano. Nas estações secas (Primavera/Verão), o bambu não despende os nutrientes adquiridos, acumulando-os para o crescimento acelerado nas estações chuvosas (Outono/Inverno). Assim, os níveis de amido são máximos no fim do Verão, pelo que esta é a pior altura para proceder ao corte/colheita da planta, pois a probabilidade de sofrer ataques de insetos ou fungos é substancialmente maior. No Inverno, o amido está presente em quantidades reduzidas, perante o gasto no desenvolvimento e crescimento de novos entrenós do tronco do espécime. Por outro lado, o elevado nível de teor em água associado ao período chuvoso, aumenta a probabilidade de se originarem eventos de fissuração ou roturas numa eventual colheita. Assim, podemos deduzir que a melhor altura para proceder à colheita do bambu é entre o final das estações chuvosas e o início das estações secas.

De forma mais detalhada, o processo de colheita do bambu deve obedecer às seguintes regras:

- Cortar o bambu pelo primeiro ou segundo nó acima do chão;
- Evitar expor a estrutura subterrânea do bambu, o rizoma, assegurando assim a continuidade da planta;
- Não arrastar o tronco pelo chão, por forma a preservar a superfície exterior do bambu;
- Não atirar os troncos, sob risco de provocar fissuração;
- Apenas as plantas que apresentem as condições pretendidas deverão ser colhidas.

As condições referidas no último ponto são fáceis de observar ou aferir. O bambu só deve ser colhido quando atinge a maturidade ideal, pelos motivos já referidos ao longo desta dissertação. Essa maturidade é atingida entre os 4 e os 7 anos de idade do espécime, quando o processo de formação de lenhina está concluído, podendo tal maturidade ser reconhecida pelo surgimento de sinais que se detalham no ponto seguinte.

### 3.2.1. SINAIS DE MATURAÇÃO

Para proceder à colheita do bambu, é necessário saber reconhecer os sinais de maturação que o mesmo apresenta. Saber quais os colmos a cortar ajudará na prevenção dos ataques de insetos e fungos. A seleção dos colmos é feita com base na idade do espécime, na sua coloração, na presença de líquenes e musgos e na ausência de imperfeições (fissuras e rachas).

A idade do espécime é, fundamentalmente, aferida pelas “bainhas” dos nós. Um bambu jovem apresentará maior largura dessas “bainhas” do que um bambu maduro.

Relativamente à coloração, quando esta transita de um verde-claro e brilhante para um verde-escuro acinzentado, a par com o escamoteamento dos nós, a planta estará a dar sinais claros de maturidade, estando pronta para a colheita.

Por outro lado, se a cana do bambu apresentar uma cor esbranquiçada, significa que a planta atingiu um estado de sobre maturação e está demasiado envelhecida para ser utilizada.

Os líquenes e musgos, sinalizados por manchas brancas e camadas orgânicas vegetais, respetivamente, se observados numa fase inicial em pequenas quantidades, indicam também o estado de maturação da planta. Por outro lado, se a base do tronco estiver coberta por fungos, e os nós estiverem secos ou

apresentarem uma coloração cinza-esbranquiçado, esses sinais indicam que a planta já ultrapassou a fase da maturidade ideal, e atingiu uma fase de sobre maturação.

Os mais experientes aferem, também, a maturidade da planta através do som gerado pela mesma quando atingida por uma pedra ou pelo cabo de uma catana.



Figura 3.2. Sinais de Maturação do Bambu [24]

### 3.3. A SECAGEM

#### 3.3.1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem pode revelar-se bastante moroso, dadas as características intrínsecas do bambu. A secagem de troncos de bambu demora, substancialmente, mais tempo do que uma porção equivalente, em tamanho e densidade, de madeira. Essa diferença significativa da morosidade deve-se aos componentes higroscópicos do bambu, que absorvem facilmente a humidade do meio circundante, a qual atinge, no limite, 60% da composição do espécime, consoante a estação sazonal, a espécie e a localização global terrestre.

A evolução do processo de secagem induz, naturalmente, movimentos de retração expressivos, que podem reduzir o diâmetro em cerca de 15% e a espessura em 17%, no máximo.

Uma das características limitativas da aplicação do bambu na construção é se o espécime se encontra num estado de maturação precoce, ou seja, se está ainda verde. Um bambu verde, em contraponto com um bambu seco, além de ser um atrativo bastante maior para insetos e micro-organismos, está ainda sujeito aos processos de retração naturais, os quais reduzem a capacidade resistente de juntas e ligações nas construções.

A secagem do bambu dura entre 6 a 12 semanas. Essa variação temporal é assente na dependência de vários fatores: percentagem de humidade intrínseca, quantidade de radiação solar incidente, espessura, precipitação (se existe ou não), humidade do ar, e velocidade da circulação do ar circundante (vento).

Importa também referir que, dentro do processo de secagem, existem vários métodos cuja aplicabilidade varia consoante os fatores que se referem em seguida [19] [20].



Figura 3.3. - Secagem ao ar livre [19]

### 3.3.2. A SECAGEM NATURAL

Este é o método mais utilizado quando o bambu tem fins puramente comerciais. Depois de colhido o bambu deverá obedecer a um importante conjunto de regras. Os troncos são dispostos e armazenados num local interior ou abrigado, e afastados do contacto direto com o solo a fim de prevenir ataques de insetos e fungos, e a humidade do próprio solo.

A secagem deverá ser gradual e natural, através de uma boa ventilação pois, perante uma incidência solar intensa, a humidade intrínseca reduz de forma acelerada, provocando a fissuração do tronco. A disposição dos troncos de bambu é também importante.



Figura 3.4. – Armazenamento e secagem natural do bambu [24]

Se os troncos forem dispostos na vertical, a secagem é mais rápida e o ataque de fungos mais improvável. Contudo, esta disposição necessita de uma estrutura de suporte eficaz, por forma a prevenir a deformação dos troncos. A disposição horizontal, geralmente utilizada para grandes quantidades, deverá ser feita em plataformas elevadas ou isolada do solo, com o espaçamento devido entre cada série de troncos para uma apropriada circulação do ar.

Os troncos não deverão ser empilhados, para evitar a fissuração dos troncos da base. Por último, para uma secagem uniforme, os troncos deverão ser longitudinalmente rodados a cada 2 semanas.

### 3.3.3. CURA OU TRANSPIRAÇÃO PÓS-COLHEITA

Este método é bastante utilizado pelas comunidades indígenas. O processo é realizado no local da colheita proporcionando, a par da secagem, uma proteção contra pragas de insetos.

O tronco de bambu, contendo ainda os seus ramos e folhas, é disposto na vertical, logo após o corte, sobre uma pedra (para evitar o contato com o solo), apoiado obliquamente noutros espécimes. As folhas e ramos potenciarão a transpiração do colmo que, associada com a ventilação natural traduz-se num processo de secagem natural eficaz.

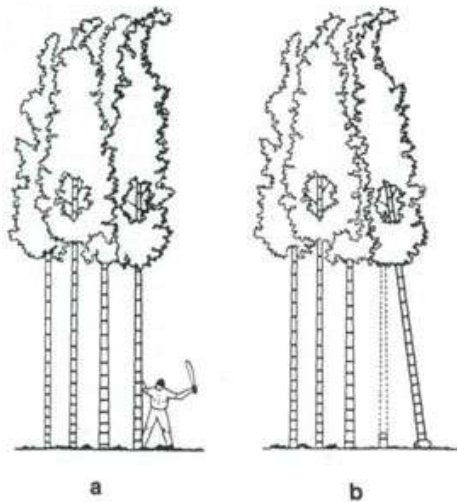


Figura 3.5 Esquema da Transpiração Pós- Colheita [19]

### 3.4. PRESERVAÇÃO E TRATAMENTOS

Os métodos de preservação do bambu podem ser divididos em tratamentos químicos e tratamentos tradicionais (naturais), estando a seleção do método mais apropriado dependente de vários fatores, que se passam a enumerar [19] [20] [21] [22]:

- Estado do bambu: se está verde ou seco;
- Forma do bambu: se está na sua forma natural, ou em dividido por partes;

- Objetivo da aplicação: se estará em contato com o chão, ou exposto aos elementos atmosféricos, ou colocado em zonas interiores, ou se é estrutural;
- Escala: depende da quantidade necessária e do prazo a cumprir;
- Danos Potenciais: quais os eventuais acontecimentos que alterarão a condição do bambu, tanto físicas (fissuração) como biológicas (pragas e insetos);

#### 3.4.1. TRATAMENTO POR IMERSÃO

Outro dos métodos utilizados, pelas comunidades indígenas e vários agricultores asiáticos, na preservação do bambu é a Imersão. Este método foi descoberto quando, na América Latina, durante o transporte de troncos da montanha para os centros urbanos, através de aglomerados de bambu, se observou um aumento da durabilidade e da resistência aos micróbios e insetos. Esse incremento deriva da gradual descida dos níveis de amido presentes na planta.

Este método é, ainda, utilizado atualmente em situações que requerem o transporte dos espécimes para áreas remotas. No entanto, por não garantir uma proteção a longo prazo, este método é habitualmente complementado por outros tratamentos.



Figura 3.6. – Transporte de aglomerados de bambu [25]

Existem, naturalmente, cuidados específicos a atentar na aplicação deste método. Os troncos de bambu são colocados num local de água corrente, ou num tanque cheio de água, com renovação semanal. Os nós interiores do bambu deverão ser devidamente furados para permitir uma fácil circulação da água através de toda a cana. O bambu deverá estar totalmente submerso durante cerca de 3-4 semanas, caso não seja complementado por outro tipo de tratamento. Um período de submersão que ultrapasse em

larga escala as 4 semanas levará a uma degradação dos troncos ao nível das propriedades físicas e mecânicas.



Figura 3.7. – Imersão do bambu [24]

#### 3.4.2. TRATAMENTO POR FUMAGEM

O processo de fumagem consiste na colocação dos troncos de bambu num forno com a temperatura aproximada de 120°C. Os espécimes permanecem no forno até que se atinja o nível de humidade pretendido, induzindo uma resistência mecânica superior, e defesas contra insetos e fungos. Durante o processo, a redução drástica do teor de humidade, pode causar a fissuração dos colmos. Os troncos tratados através deste processo obtêm uma coloração muito escura, quase negra.



Figura 3.8. Fumagem do Bambu [19]

### 3.4.3. TRATAMENTOS QUÍMICOS

Os métodos Químico são, comparativamente com os tratamentos tradicionais, mais onerosos e mais agressivos para o meio ambiente. Contudo, são também mais eficientes e adequados para produções em larga escala, ao contrário dos tratamentos tradicionais que são realizados em meios subdesenvolvidos e em pequena escala.

São vários os tratamentos químicos de preservação aplicáveis ao bambu, podendo ser divididos em duas categorias distintas: os de fixação e os de não-fixação. A diferença primordial entre ambos é o facto de os bambus tratados com métodos de não-fixação, não serem adequados a uma utilização exterior. O objetivo primordial deste tipo de tratamentos é, seja para curto ou longo prazo, dotar os troncos de proteção contra insetos e fungos. Assim, este tratamento deverá ser complementado com um tratamento que reduza o teor de água.

Os líquidos conservantes como o CCA (Cobre-Cromo-Arsênio), o CCB (Cobre-Cromo-Boro) ou, mais baratos, como o ácido bórico e bórax, são os mais utilizados (Figura 3.9.).



Figura 3.9. – Tratamento Químico do Bambu [24]

### 3.4.4. TRATAMENTO EM TANQUE A CÉU ABERTO

Conforme sugere o nome, os troncos são dispostos e submersos na mistura conservante, onde permanecem durante uma semana. Uma semana volvida, o bambu é disposto verticalmente, num local protegido, exposto ao sol durante uma semana.

### 3.4.5. TRATAMENTO DE FUNDO

Os troncos de bambu, sem que lhes sejam retiradas as folhas ou ramos, são colocados num tambor cheio com a mistura conservante. Esses elementos naturais, os ramos e folhas, funcionam como elemento absorvente do químico conservante, proporcionando uma proteção total. Após duas semanas de imersão, quando a folhagem tiver alterado a sua coloração, os colmos, já sem ramos e folhas, são colocados num tambor rotativo para remoção do excesso de líquido conservante. Este método está esquematizado na figura 3.10.

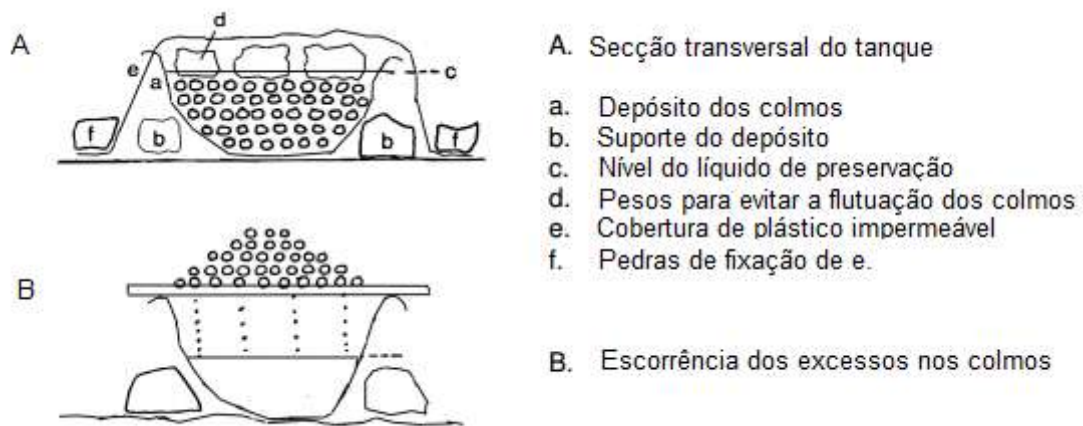


Figura 3.10. Tratamento de fundo [21]

### 3.4.6. TRATAMENTO ATRAVÉS DO MÉTODO BOUCHERIE

Numa das extremidades do tronco é colocado um tubo de condução de conservante, que está devidamente ligado a um reservatório desse mesmo líquido, situado numa torre com cerca de 10 metros de altura. O líquido, impulsionado pela altura piezométrica, percorre todo o tronco de bambu até sair na outra extremidade onde os excessos são recolhidos num depósito. De referir que, naturalmente, os nós interiores terão de ser devidamente perfurados para que o líquido possa percorrer a cana.

Este método evoluiu para pressão induzida, processos industriais com bombas elétricas e gasolina. Estas melhorias permitem acelerar o processo de dias para horas, com pressões de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Numa primeira fase, injeta-se uma solução conservante espessa que passa pelas fibras e sai na outra extremidade. Numa segunda fase, é conduzida e outra mistura mais diluída para limpeza e garantir uma correta imunização. Tem resultados muito eficazes, contudo ainda é um método oneroso. O processo está esquematizado na figura 3.11.

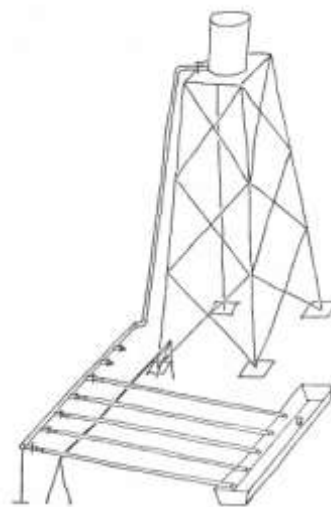


Figura 3.11. Esquema do Método Boucherie [21]

### 3.5. ESTRUTURA CELULAR

A estrutura celular do colmo é relativamente simples e de fácil compreensão. O colmo é uma estrutura retilínea composta por entrenós e nós. Em cada nó existe uma membrana designada de diafragma que é retirada ou não, mediante o componente produzido com o colmo, não constituindo um problema para a integridade futura do colmo, caso não seja retirada. As paredes são constituídas por tecido lenhoso, cuja densidade aumenta de dentro para fora e da base para o topo, conforme se pode verificar na figura 3.12. No sentido de garantir a integridade e saúde do colmo, é aconselhada a remoção da camada superficial exterior, que infere uma eficácia maior dos conservantes aplicados e preveni o apodrecimento precoce.

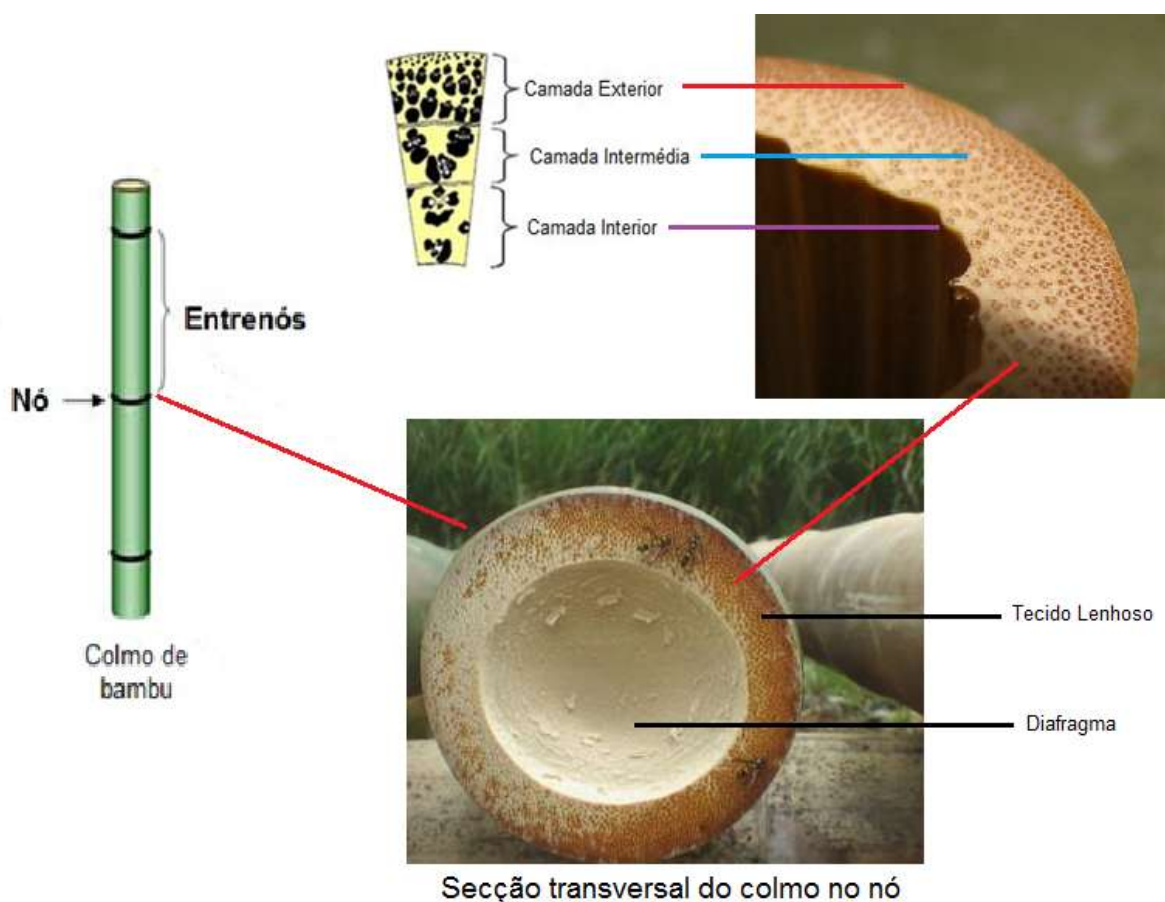


Figura 3.12. Estrutura celular do colmo [19] [24]

### 3.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química do bambu influencia diretamente o seu crescimento e as suas propriedades mecânicas.

De forma geral, com variações ao nível da espécie e idade do espécime, o bambu *Bambusae* é composto, principalmente, por celulose, hemicelulose e lenhina. Em quantidades secundárias surgem resinas, taninos, ceras e sais orgânicos [5].

Através de uma análise química profunda, é possível aferir a seguinte composição:

- **Celulose** ( $C_6H_{10}O_5)_n$  - é um hidrato de carbono que forma o primordial componente estrutural de plantas verdes, a parede celular. A celulose é, também, a forma mais abundante de biomassa viva terrestre do mundo, que em combinação com a hemicelulose e lenhina pode ser encontrada em todas as plantas.
- **Lenhina** - A lenhina é a substância aglutinadora entre as fibras e os tecidos, que se concentra numa zona lamelar interior da parede e confere rigidez à camada lenhosa do bambu. A principal propriedade da lenhina é a capacidade de absorver a radiação ultravioleta e auxiliar a condução da água nos colmos. A lenhina, de forma isolada, é uma substância amorfa e fosca, que pode ser dissociada dos restantes constituintes do bambu, embora tal processo seja apenas relevante para a produção de papel ou fins alimentares. A lenhina corresponde entre 1/4 e 1/3 da massa seca de bambu.
- **Hemicelulose**: A hemicelulose é semelhante à celulose, mas é menos complexa. A hemicelulose juntamente com a pectina liga-se à celulose formando uma rede de fibras entrecruzadas nas plantas. É composta, maioritariamente, por todos os açúcares, excetuando a glucose.

Tabela 3.1. – Comparação da composição aproximada do Bambu com a Madeira

Material	Celulose (%)	Lenhina(%)	Hemicelulose (%)
Bambu	55	25	20
Madeira (Coníferas)	50	25	25

No entanto, é relevante referir que a composição química não é constante ao longo de todo o colmo conforme fica demonstrado na tabela 3.2.

Tabela 3.2. – Variação da composição química em altura

Localização	Celulose (%)	Lenhina (%)	Hemicelulose (%)
Topo	54.1	24.7	21.2
Meia Altura	53.6	24.5	21.9
Base	54.4	24.0	21.6

Da tabela 2 é possível aferir que existe um aumento da lenhina em altura, conforme já tinha sido referido no ponto 3.5, e uma menor percentagem de celulose a meia altura comparativamente com a base e o topo. Este fenómeno deve-se ao crescimento acelerado do colmo do bambu no sentido de procurar a melhor insolação possível.

### 3.7. PROPRIEDADES FÍSICAS

Neste ponto serão expostas várias das características inerentes ao bambu, importantes na conceção de um projeto de Engenharia Civil [2].

#### a) PESO VOLÚMICO

Os valores do peso volúmico seco do bambu variam entre os 500 e 800 kg/m<sup>3</sup>. Este valor aumenta do centro para a periferia e da base para o topo.

#### b) TEOR EM ÁGUA

O teor de humidade do bambu depende de:

- *Espécie* - diferentes espécies apresentam quantidades diferentes de parênquima e consequentemente diferentes capacidades de retenção de água [2];
- *Zona do colmo* - a base apresenta valores de teor de humidade superiores aos verificados no topo; também no centro do colmo os valores de teor de humidade são superiores aos verificados na periferia da secção transversal; assim, podemos concluir que o teor de humidade diminui da base para o topo e do interior para o exterior;
- *Estações* – naturalmente, no final da estação das chuvas o teor de humidade é muito mais elevado do que no final do período seco;
- *Idade* - o colmo novo tem um teor de humidade mais elevado e mais uniforme do que o colmo maduro. Após a colheita o teor de humidade do bambu pode ser influenciado pelo meio ambiente;

#### c) RETRAÇÃO

É possível verificar que o início do processo de retração do bambu coincide com o início da secagem, não sendo diretamente proporcional. A retração para, quando é atingido um teor de humidade de 40%. Depois da colheita, a retração continua, em diferentes direções, devido ao associado decréscimo do teor de humidade. Transversalmente, a retração aumenta do interior para o exterior. Longitudinalmente a retração é desprezável;

### 3.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Se pensarmos, da perspectiva de um Engenheiro Civil, na disposição de uma planta de bambu na Natureza, podemos aferir que funciona como uma consola encastrada no solo, sujeita a cargas distribuídas horizontais como o vento, logo com maior predisposição natural para resistir a momentos fletores e encurvadura. Contudo, para determinar a real capacidade resistente do bambu foi necessário proceder a um estudo profundo através de ensaios apropriados.

Os ensaios e métodos analíticos evoluíram ao longo das décadas, permitindo agora, um maior rigor dos resultados obtidos. Dentro do âmbito definido, expõe-se uma comparação na Tabela 3.3, realizada por Xiaobo (2004), a título introdutório deste ponto, da espécie *Phyllostachys Pubescens*. Utilizando valores médios, e recorrendo aos ensaios mais usuais para apuramento das características mecânicas a comparação é feita com alguns dos materiais mais usuais na construção atual [2] [23].

Tabela 3.3. – Tabela Comparativa das Propriedades Mecânicas do Bambu, Xiaobo (2004)

Material	Resistência ( $N/mm^2$ )			Módulo de Elasticidade ( $N/mm^2$ )
	Corte	Compressão	Tração	
Betão (C25) <sup>1</sup>	8	33	2.6	25 000
Aço (S500)	160	435	435	200 000
Madeira (HR=40%)	7.5	24.52	2.94	11 514
Bambu <i>Phyllostachys pubescens</i>	13.9	63.8	163.5	10500

(Usaram-se os valores de provetes cilíndricos do betão, para uma melhor comparação com o bambu, de formato natural cilíndrico.)

As propriedades mecânicas, conforme já foi referido no Capítulo 2, são altamente influenciadas pelas características do colmo. Sabendo pela informação transmitida nos pontos anteriores que o diâmetro do colmo reduz no último quarto da altura total, que a densidade da parede cresce com a idade e que a secagem aumenta a resistência do colmo, podemos concluir que as propriedades mecânicas variam ao longo do colmo e de uns para os outros. Na tabela 3.4 [2] expõe-se os resultados de um estudo de um bambu *Phyllostachys Pubescens*, realizado por Liese (1985), que avalia a resistência aos esforços de acordo com o teor em água e com a localização na parede do colmo. O estudo foi feito usando colmos inteiros e metades de colmos.

Conforme é possível observar, num qualquer colmo, uma superfície exterior saturada apresenta valores de resistência à flexão muito superiores à superfície interior desse mesmo colmo. Tal deve-se à densidade das fibras, que aumenta de dentro para fora. Essa mesma diferença é verificada para a resistência à tração, em que a resistência da superfície exterior é superior à da superfície interior.

Se observarmos a coluna dos colmos sujeitos a secagem natural, verificamos um incremento da resistência à flexão em ambas as superfícies mas aproximadamente a mesma diferença entre ambos. O mesmo pode afirmar-se relativamente à resistência à tração, enquanto para um colmo inteiro sujeito a

secagem natural, a resistência à tração é ligeiramente superior comparativamente com um colmo saturado.

Por fim, se observamos a coluna dos colmos sujeitos a secagem em forno, verificamos um aumento da resistência à flexão de ambas as superfícies com um aumento da diferença entre ambos. Quanto à tração, existe uma dissipação da diferença entre a superfície interior e a exterior.

A resistência ao corte também foi testada, no âmbito do mesmo estudo, com incrementos sucessivos significativos de um colmo saturado, para um sujeito a secagem natural e deste para um sujeito a secagem em forno.

Tabela 3.4 – Caracterização mecânica do bambu com variação do teor em água, Liese (1985)

Propriedade	Zona de Ensaio	Saturada	Após Secagem Natural	Após Secagem em Forno
Resistência à Flexão (N/mm <sup>2</sup> )	Superfície Exterior	250	270	370
	Superfície Interior	120	144	160
Resistência à Tração (N/mm <sup>2</sup> )	Superfície Exterior	6	7	8
	Superfície Interior	5	6	8
	Colmo Inteiro	6	7	8
Resistência ao Corte (N/mm <sup>2</sup> )	Colmo Inteiro	9	11	18

Pode concluir-se da tabela 3.4 que, os colmos sujeitos, tanto a secagem natural como a secagem em forno oferecem vantagens do ponto de vista mecânico em comparação com os colmos saturados, acabados de colher.

Por outro lado, analisando-se a variação das propriedades mecânicas associadas à variação da idade e à zona em altura, de um colmo da mesma espécie, a *Phyllostachys Pubescens*, é possível obter outro tipo de conclusões. A tabela 3.5, resultante de um estudo realizado por Liese (1985), permite a comparação dos valores da resistência à tensão de compressão ( $f_c$ ) longitudinal, resistência à tensão tangencial e do módulo de elasticidade, entre zonas diferentes de colmos de idades diferentes. A tabela inclui o desvio-padrão dos valores apresentados e a densidade dos colmos utilizados.

Através da observação cuidada da tabela 3.5 pode-se concluir que a resistência à tensão de compressão, tanto longitudinal como tangencial, aumentou com o envelhecimento da idade do colmo. O colmo com um ano de idade apresenta o valor mais baixo da resistência à tensão de compressão tangencial com um valor médio de 16.1, enquanto esse mesmo colmo, com 5 anos de idade, apresenta uma resistência média de 34.3 MPa, o que se traduz num aumento de mais de 100%. Relativamente à zona do colmo, concentra-se no topo a maior resistência do colmo às tensões de compressão, apesar de as diferenças entre as diferentes zonas do colmo não serem significativas.

O módulo de elasticidade,  $E_c$ , também revelou ser mais baixo nos colmos com um ano de idade, atingindo o seu máximo relativo aos 3 anos de idade, dado que a diferença entre os colmos de 3 e 5 anos não ser significativa. Relativamente à zona do colmo, o fenómeno observado para a tensão de

compressão é diferente, o ponto mais alto apresenta o módulo de elasticidade mais elevado, mas a diferença para a zona intermédia é significativamente superior.

Tabela 3.5 - Caracterização mecânica do bambu com variação da idade e da zona do colmo, Liese (1985)

Idade	Zona do Colmo	Densidade	Longitudinal		Tangencial	
			fc (MPa)	Ec (MPa)	fc (MPa)	Ec (Mpa)
Um	Base	0,49	47.0 (2.4)	2067 (339)	14.8 (1.1)	277 (61)
	Meio	0,53	50.9 (3.1)	2776 (362)	16.0 (1.2)	254 (71)
	Topo	0,54	55.7 (3.8)	3658 (464)	17.4 (0.5)	359 (75)
Três	Base	0,70	86.8 (1.8)	4426 (491)	33.0 (1.5)	535 (101)
	Meio	0,71	83.9 (2.8)	4428 (305)	29.8 (3.2)	456 (98)
	Topo	0,72	84.0 (3.3)	4660 (451)	33.8 (1.2)	606 (80)
Cinco	Base	0,75	93.6 (3.5)	4896 (116)	34.1 (2.0)	533 (98)
	Meio	0,78	86.6 (3.5)	4980 (262)	33.6 (3.0)	527 (55)
	Topo	0,76	85.8 (5.3)	5185 (330)	35.3 (2.1)	552 (81)

A idade do colmo pesa bastante na capacidade máxima de resistência a esforços de compressão e no módulo de elasticidade. Contudo, é também possível concluir que a zona do bambu embora não influencie significativamente a resistência a tensões de compressão, pesa substancialmente no módulo de elasticidade diferenças consideráveis entre a zona intermédia e o topo.

Pode então concluir-se que o bambu comporta-se melhor perante os esforços de compressão longitudinais, e que a variação significativa entre a resistência longitudinal e tangencial deve-se à ligação mais fraca entre as fibras alinhadas paralelas que permitem um rompimento mais rápido quando sujeitas a esses esforços tangenciais. Pode também concluir-se que, da perspetiva da Engenharia Civil, para resistir a esforços de compressão a escolha pode incidir sobre um colmo de 3 anos de idade porque as diferenças da resistência aos esforços de compressão, tanto longitudinais como transversais, para um colmo com 5 anos de idade, não são significativas.



# 4

## COMPONENTES EM BAMBU

### 4.1. INTRODUÇÃO

Indubitavelmente que é no continente asiático que encontramos um maior leque de utilizações do bambu no quotidiano. Porém, a proliferação global da planta permite um entrosamento crescente em diversas indústrias, criando dessa forma um mercado alternativo e complementar, simultaneamente, a outros materiais, com destaque para a madeira.

Nesse sentido, o presente capítulo visa demonstrar o vasto rol de componentes à base de bambu aplicáveis na construção.

Fundamentalmente, o bambu pode substituir a madeira em quase toda a amplitude de componentes, tudo dependendo do processamento da matéria-prima. Por isso, é natural que as soluções apresentadas sejam muito semelhantes às aplicações já existentes na indústria da madeira.

Podemos distinguir duas categorias principais de componentes de bambu: os tradicionais e os modernos. O conhecimento relativo à empregabilidade do bambu de forma tradicional é fundamentalmente empírica não havendo legislação, ensaios ou normas orientadoras que providenciem uma base científica credível.

### 4.2. COMPONENTES TRADICIONAIS EM BAMBU

São diversas as inovações no campo dos componentes, mas os artesanais continuam a ser os mais abundantemente utilizados. O presente ponto foca-se nos componentes executados tradicionalmente, com empregabilidade atual, ainda que muitos deles, apenas em construções rudimentares. A diversidade de componentes não é grande, pois as construções tradicionais baseiam-se, fundamentalmente, em colmos inteiros ou metades de colmos. De referir que os elementos abordados no Capítulo 5, nos pontos 5.3.3.b.3 e 5.3.3.b.4, poderiam ser incluídos neste ponto.

#### 4.2.1. TELHA LONGA

O mais simples tipo de cobertura em bambu, formado por telhas que serão, no mínimo, tão longas quanto as vigas de sustentação da cobertura. As telhas utilizadas são obtidas através da divisão longitudinal em duas partes, remoção dos diafragmas internos e encaixadas alternadamente conforme demonstrado na figura 4.1. As telhas são mantidas na sua posição recorrendo apenas ao peso próprio, sem ser utilizado qualquer sistema de fixação entre as telhas e as vigas.

#### 4.2.2. TELHA EM LANCETA

As telhas em forma de lanceta, para a cobertura homônima, são obtidas através do corte dos colmos de bambu no comprimento dos segmentos, o que torna esta técnica mais onerosa.

Na parte anterior da telha é executada uma saliência em forma de língua, resultante do corte da casca, que permite o encaixe entre as ripas de sustentação e impede o deslizamento das partes. Para uma drenagem mais eficiente, as telhas não deverão ser realizadas nas zonas do nó dos colmos, e a sua concavidade deverá estar voltada para cima.

Comparativamente com outras coberturas naturais, esta tecnologia evidencia algumas desvantagens. O formato da telha implica a execução em inclinação acentuada e uma infraestrutura sólida.

Porém, perante períodos longos e intensos de precipitação, este tipo de cobertura apresenta-se como pouco fiável (Figura 4.2.).

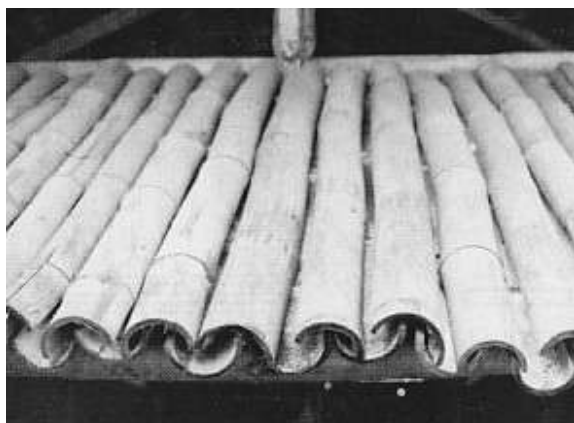


Figura 4.1. – Cobertura em meias canas de bambu [7]



Figura 4.2. – Cobertura de telha em lanceta [7]

#### 4.3. PAINÉIS DE BAMBU

A execução do primeiro painel em bambu remonta aos finais da Primeira Guerra Mundial, em território chinês. Atualmente, volvidos cerca de 100 anos, mais de 28 tipos de painéis em bambu foram desenvolvidos mundialmente, com destaque para o continente asiático. Apesar desta longevidade, a sua aplicabilidade na construção foi apenas descoberta recentemente, na sequência do desenvolvimento de estudos e ensaios científicos.

Os painéis em bambu provaram ser um material adequado para fins construtivos, quer seja com funções estruturais, quer seja com funções não estruturais, independentemente do estrato social a que a construção se destina. O espectro de utilização dos painéis de bambu é vasto e inclui pavimentos, paredes, divisórias, portas, tetos e coberturas e devido à sua rigidez inerente e elevada durabilidade (obtida através de tratamentos preservativos), estes painéis podem oferecer vantagens significativas em comparação com o bambu no seu estado natural.

Os vários tipos de painéis podem ser classificados da seguinte forma:

- Processado a partir de tiras, raspas e lascas;
- Processado a partir de folhagem descascada;
- Aglomerado de fios, partículas e fibras;

- Combinação de dois dos atrás citados;
- Combinação de um dos supracitados com madeira ou outras substâncias inorgânicas.

Os dois tipos mais comuns de painéis, para os quais existem normas nacionais nos países onde são comercializados, são:

- Contraplacado de entrelaçado de bambu;
- Contraplacado de camadas de bambu.

#### 4.3.1. CONTRAPLACADO DE ENTRELAÇADO DE BAMBU

Conforme o nome sugere, estes painéis são formados por camadas de esteiras de bambu entrelaçado, conforme é visível na figura 4.3., compostas por tiras cortadas, de forma manual ou mecânica, com dimensões que variam entre os 8 e os 16 milímetros de largura e os 0,8 e os 1,2 milímetros de espessura.

Após a secagem, até um teor de água compreendido entre os 8 e os 16%, é aplicado uma resina por espalhamento ou submersão com posterior compressão, a quente ou a frio, por forma a produzir o contraplacado. É realizada a raspagem e o corte para as dimensões pretendidas para fins de acabamento.

Para aumento da durabilidade, geralmente são incorporados conservantes químicos. Contudo, para obtenção de uma maior eficácia, aconselha-se que esses conservantes sejam aplicados antes da impregnação da resina.

O número de camadas utilizadas e a espessura do painel variarão consoante a finalidade. As camadas variam, em quantidade, entre as 2 e as 7 com espessuras respetivas compreendidas entre os 1 e os 10 milímetros. Os painéis mais finos são, normalmente, utilizados para divisórias enquanto os mais espessos são usados para cofragem de betão.



Figura 4.3. Contraplacado de entrelaçado de bambu [26]

#### 4.3.2. CONTRAPLACADO DE CAMADAS DE BAMBU

O contraplacado de camadas de bambu (figura 4.4.), na sua forma mais simples, a mais comum na América do Sul, consiste na aglutinação por colagem de tiras de bambu ou de camadas cruzadas de bambu desenrolado [11]. Contudo a produção é, atualmente, dotada de processos e métodos evoluídos.

Depois do descascamento da superfície exterior, os colmos são divididos em duas partes, com posterior remoção dos diafragmas dos nós. Em seguida são amolecidos pelo embebimento numa substância orgânica e pelo aquecimento a 45°C, sucedendo-se o nivelamento das peças, que são submetidas a secagem até atingirem um teor em água de 8%.

As fases de produção subsequentes são idênticas às de um contraplacado de madeira. As camadas de bambu são aplainadas e aparadas, tratadas com um adesivo, dispostas com orientações oblíquas, com posterior prensagem a quente. Para finalizar, são lixadas e cortadas nas dimensões pretendidas.

Tipicamente, este componente é utilizado para pavimentação e para revestimento de paredes. Apresenta boas propriedades de resistência mecânica, rigidez e um elevado grau de resistência à abrasão e ao desgaste. Comparativamente com outros componentes semelhantes apresenta resultados mais satisfatórios.

Atualmente é possível realizar todo o processo de produção de forma mecânica e automática [11].



Figura 4.4. – Contraplacado de camadas de bambu [27]

#### 4.3.3. PAINÉIS DE BAMBU AGLOMERADO DE DENSIDADE MÉDIA - MDF

Os painéis de aglomerado são o tipo de painel mais fabricado, apresentando características físicas e mecânicas satisfatórias, assim como uma superfície aprazível. Constituem uma solução adequada para a produção de mobiliário ou de revestimentos interiores. Contudo, a produção deste tipo de painéis enfrenta, atualmente, uma grande oportunidade, considerando o que a seguir se descreve.

A procura global pelas fibras de madeira para a produção desses painéis é, aparentemente, interminável. Nesse sentido, algumas soluções alternativas naturais ganham importância no mercado da construção, permitindo uma desaceleração da devastação florestal. O bambu apresenta-se como

uma dessas alternativas, por ser de regeneração rápida, de custo reduzido e mecanicamente superior comparativamente com algumas espécies de madeira.

A produção de painéis de madeira aglomerada com bambu, em conjunto, permitiu a obtenção de valores superiores da resistência à flexão e a manutenção do módulo de elasticidade do painel, e quanto maior era a percentagem de bambu, maiores eram os valores obtidos para a resistência à flexão. Dessa forma, concluiu-se que seria favorável executar os painéis exclusivamente em bambu.

Os painéis exclusivamente realizados com fibras de bambu apresentam-se, então, com um valor de resistência à flexão muito superior ao de um painel de fibras de madeira, e com um módulo de elasticidade semelhante. Além disso, as ligações internas do bambu provaram ser substancialmente mais fortes do que as das fibras de madeira. Também apresentam uma permeabilidade inferior, e uma variação da espessura substancialmente menor.

#### a) PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE UM PAINEL DE BAMBU AGLOMERADO

Os resultados de ensaios laboratoriais realizados por Li (2004), em painéis de bambu aglomerado com um, três e cinco anos de idade, com vista a determinar as respetivas propriedades físicas e mecânicas, estão expostos na tabela 4.1 [33].

Tabela 4.1 – Propriedades físicas e mecânicas de um painel de bambu aglomerado, Li (2004)

Idade (Anos)	Resina (%)	Densidade	Rácio de Compactação (1)	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência ao Corte (MPa)	Absorção de Água (%)
<b>Um</b>	6 %	0.718	1.44	19.0	2.18	0.38	101
	7 %	0.705	1.41	23.9	2.72	0.85	83
	8 %	0.714	1.43	27.6	3.07	1.06	77
<b>Três</b>	6 %	0.716	1.02	10.7	1.63	0.48	110
	7 %	0.727	1.04	17.1	2.50	0.90	78
	8 %	0.715	1.02	20.0	2.64	1.20	68
<b>Cinco</b>	6 %	0.731	1.04	21.6	2.19	0.70	105
	7 %	0.730	1.04	23.6	2.47	1.07	79
	8 %	0.734	1.05	26.1	2.76	1.16	72

(1) Rácio de Compactação – densidade do painel / densidade do material

Os resultados comprovam que, de forma geral, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de bambu aglomerado são comparáveis com as propriedades dos painéis tradicionais de madeira aglomerada. É possível observar que existem aumentos da resistência à flexão, do módulo de elasticidade e da resistência ao corte, todos associados ao incremento da percentagem de resina.

Por outro lado, também se pode aferir que o painel com um ano de idade apresenta os melhores resultados, quando comparado com os painéis de 3 e 5 anos de idade. Tal fenómeno pode ser justificado com base no rácio de compactação que diminui com o envelhecimento do material.

Assim, podemos concluir que um painel de bambu aglomerado é mais resistente no primeiro ano e se apresentar, na sua composição, uma percentagem de resina relativamente elevada.

#### b) PROCESSO DE FABRICO

O esquema da figura 4.5. permite a perceção total do processo de fabrico de um painel de bambu aglomerado.



Figura 4.5.- Processo de Produção dos Painéis de bambu aglomerado

#### 4.4. COBERTURA - CBRS

Na construção tradicional da América Latina, a cobertura da maioria das edificações é realizada através de placas de zinco ou plástico, mesmo nas construções mais onerosas, que utilizam telhas de cerâmica na cobertura primária e as placas de zinco ou plástico sob as telhas de cerâmica, no sentido de prevenir danos causados pela atividade sísmica local. Contudo, e perante a abundância de matéria-prima do local, existe uma alternativa mais económica e eficaz, as placas de bambu ondulado.

#### 4.4.1. FABRICO

O processo de fabrico deste elemento, relativamente ao contraplacado de tiras de bambu, apenas difere na forma, dado que as placas destinadas a este tipo de cobertura, são moldadas para apresentar um aspeto final ondulado, assemelhando-se dessa forma, às placas de zinco e plástico, usadas em coberturas (Figura 4.7.).



Figura 4.6. – Placa de Bambu Ondulado [24]



Figura 4.7. – Prensagem da Placa [24]

#### 4.4.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As placas de bambu ondulado, de sigla internacional CBRS, são uma excelente alternativa às placas de cobertura metálicas ou plásticas por serem:

- ✓ Ecologicamente mais amigáveis;
- ✓ Apresentam as mesmas medidas padronizadas para coberturas onduladas tradicionais;
- ✓ Melhor isolamento sonoro durante os períodos de precipitação;
- ✓ Um melhor isolamento térmico nos períodos de calor;
- ✓ De fácil manuseamento e execução;
- ✓ Mais atrativos visualmente.

Naturalmente, este tipo de coberturas pode ser aplicado em todo o tipo de construções, incluindo habitações, armazéns, ou estábulos. Aliás, nesse âmbito, um estudo revelou que vacas colocadas sob uma cobertura de placas de bambu ondulado, produzem mais leite devido ao bom isolamento térmico oferecido.

#### 4.4.3. CONCLUSÕES

Conforme já foi referido, a utilização do zinco na América Latina é abundante. Contudo não é um material atrativo para o utilizador final, devido ao seu elevado custo. O zinco além de ser um material importado cujo preço aumenta regularmente, apresenta alta velocidade na corrosão no seu estado natural. Em contraponto, as placas de bambu ondulado são mais duráveis, baratas e resistentes tornando-se um investimento socio ecológico a longo prazo, pelo que são uma solução de força crescente.

#### 4.5. BAMBU LAMELADO COLADO - BLC

São vários os elementos construtivos passíveis de ser executados em bambu lamelado colado. Assim, tendo em conta que o processo de produção de lamelado colado de bambu é comum aos vários elementos construtivos, diferindo apenas no ajuste final, passa-se a especificar em seguida o ciclo produtivo.

##### 4.5.1. FABRICO E PRODUÇÃO

O fabrico de bambu lamelado colado, em muito se assemelha ao processo de produção de contraplacado de madeira. De forma sucinta, a matéria é disposta em lâminas orientadas alternadamente e previamente trabalhadas, e prensadas depois de estarem embebidas em resina.

O esquema da figura 4.8. permite uma fácil perceção do processo de fabrico das vigas de bambu lamelado colado.



Figura 4.8. - Processo de Produção do Bambu Lamelado Colado

Neste tipo de processo, os colmos de bambu são cortados longitudinalmente em troços longos, para posteriormente serem divididos em tiras de espessura aproximada de 0,6 milímetros e 25 milímetros de largura aproximada, enquanto a camada superficial exterior é removida. Depois de secas naturalmente até atingirem um mínimo de 12% de teor em água, são embebidas numa solução resinosa. Os excessos de resina são escorridos, e as peças são então colocadas em estufa.

Em seguida as tiras são dispostas de duas formas: ou são entrelaçadas de forma a se obter um tapete, e depois são empilhados vários tapetes, ou então as tiras são empilhadas individualmente. Estes métodos variam conforme o elemento construtivo pretendido.

Sequencialmente, as tiras de bambu são prensadas a quente e a frio, por forma a ser obtido um painel de bambu lamelado colado, que é cortado de acordo com as dimensões pretendidas para o elemento desejado.

De forma mais detalhada, de referir que, as tiradas são prensadas com 5,0 MPa, a 140°C de temperatura, com um rácio de 1,5 minutos/milímetro de espessura, quando se trata da compressão a quente. Na compressão a frio, a pressão é de 1,5 MPa com um rácio de 0,5 minutos/milímetro de espessura.



Figura 4.9. – Bambu Lamelado Colado [6]

#### 4.5.2. VIGAS DE BAMBU LAMELADO COLADO

As vigas de bambu lamelado colado oferecem o mesmo tipo de solução que as vigas de madeira lamelada colada, sem que tal substituição de material se constitua como uma redução da qualidade da solução, conforme se explana nos pontos seguintes.

Naturalmente, esta solução constitui para os países que detém grandes quantidades de bambu, uma mais-valia. A título de curiosidade, a Costa Rica produz anualmente cerca de 100 habitações (apesar de ter potencial para 2500) em bambu através do projeto FUNBAMBU. Este projeto visa combater a deflorestação através da substituição da madeira na construção, por um material alternativo, e nesse sentido o bambu oferece-se como uma solução de eficiência superior. Este tipo de projeto tem-se alastrado a outros países sul-americanos.

##### a) Desempenho

Na construção em madeira, as vigas de madeira lamelada colada são produzidas através da aglutinação de, conforme supracitado, várias lâminas de madeira, por forma a eliminar os pontos fracos naturais do material, oferecendo dessa forma uma solução mais resistente e duradoura.

Nessa linha de raciocínio, é natural inferir que, se o bambu não-processado apresenta melhores características de resistência mecânica do que a madeira em igual estado, então uma viga de bambu processado também se apresentará como uma solução de qualidade superior à de madeira processada. É o que se verifica com a comparação direta entre vigas de bambu lamelado colado e de madeira lamelada colada.



Figura 4.10. – Viga de bambu lamelado colado [28]

Na perspectiva da prevenção dos efeitos sísmicos, este tipo de vigas apresenta maiores índices de ductilidade comparativamente com a madeira, pelo que é uma solução mais eficiente pela consequente maior capacidade de dissipar energia.

Naturalmente, estas características variarão, ainda que ligeiramente, de acordo com o tipo de bambu utilizado.

# 5

## ESTRUTURAS VERNACULARES EM BAMBU

### 5.1. INTRODUÇÃO

Poderá definir-se estrutura vernacular como sendo rudimentar ou elementar, cuja execução não requer conhecimentos superiores ou meios tecnologicamente avançados. A maioria das construções vernaculares em bambu relaciona-se com as necessidades quotidianas das comunidades rurais em regiões subdesenvolvidas e tipicamente pobres. Como tal, a conceção das estruturas destas construções é tipicamente simples, baseando-se em métodos e técnicas, obtidos empiricamente ao longo dos anos, que passaram de geração em geração até à atualidade.

As necessidades supracitadas abrangem desde pequenas estruturas de vedação, passando pela habitação, até às pontes e passagens pedonais, senda esta sequência acompanhada de uma complexidade crescente. As aplicações rudimentares do bambu abrangem também canalização, mobiliário, portas e janelas, mas conforme é referido no capítulo 1 não são abordados na presente dissertação.

### 5.2. VALORES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS A USAR NO CÁLCULO

Conforme já foi referido anteriormente existem mais de 1500 espécies de bambu. Esse dado associado ao facto de as construções vernaculares terem evoluído empiricamente, leva a que não haja sustentação científica que permita retirar conclusões sobre o funcionamento mecânico para situações específicas. A execução das construções vernaculares deve assentar, para o bambu *Phyllostachys Pubescens*, deve basear-se nos valores indicados nas tabelas 3.4 e 3.5 do ponto 3.8 da presente dissertação, e nos manuais de construção publicados como os indicados na referência bibliográfica [1].

### 5.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

O bambu pode ser utilizado na execução de todos os componentes de pequenos edifícios, quer estruturais quer não-estruturais, excetuando-se chaminés e lareiras. É, contudo, utilizado frequentemente em simbiose com outros materiais de construção, originando muitas das soluções atualmente conhecidas.

Na construção em bambu é utilizada uma abordagem de planeamento estrutural semelhante à da construção em madeira, interligando de forma harmoniosa o pavimento, as paredes e a cobertura, os quais são interdependentes ao nível da estabilidade estrutural. A qualidade geral da construção

dependerá, substancialmente, da atenção e rigor nos detalhes, indispensáveis na prevenção do ataque de fungos, insetos ou de infiltrações.

### 5.3.1. ANDAIMES

Os andaimes em bambu têm sido, desde há séculos, amplamente utilizados nas construções por todo o Sudeste Asiático, mas com principal preponderância na China. Estima-se que o primeiro andaime em bambu tenha sido realizado há cerca de 5000 anos, permanecendo como um dos poucos elementos da construção tradicional chinesa correntemente utilizados.

Existem dois principais tipos de andaimes em bambu, empregues mediante a finalidade pretendida. Para a execução de trabalhos ligeiros, tais como trabalhos simples numa fachada, é utilizado um andaime de camada simples (Single Layered Bamboo Scaffolds -SLBS), visível na figura 5.1.

Para trabalhos de maior envergadura, tais como os de construção, são utilizados andaimes de dupla camada (Double Layered Bamboo Scaffolds – DLBS). Este tipo de solução oferece maior segurança aos trabalhadores, e pode ser executado rapidamente e com geometria variada no sentido de acompanhar eventuais formas arquitetónicas irregulares. A figura 5.2. ilustra a configuração típica desta solução, demonstrando a disposição e orientação dos colmos [3].



Figura 5.1. - Andaime de camada simples [3]



Figura 5.2. - Andaime de camada dupla [3]

As dimensões dos colmos utilizados, tanto verticalmente como horizontalmente, variam entre os 40 e os 100 milímetros de diâmetro, e entre os 6 e os 8 metros de comprimento. Em altura os andaimes têm tipicamente 15 metros de altura, mas podem chegar aos 100 metros, o equivalente a 30 pisos.

O manuseamento destas duas soluções é particularmente fácil, não requerendo máquinas, ferramentas sofisticadas ou elevada formação da mão-de-obra. Comparativamente com os andaimes metálicos, utilizados correntemente em Portugal, os andaimes em bambu demoram o mesmo tempo a ser montados e um décimo do tempo a ser desmontados sem prejuízo da segurança ou alcance. Independentemente das variações substanciais das características intrínsecas dos colmos, a montagem é habitualmente feita por mão-de-obra experiente, dado que a segurança das uniões e ligações dos andaimes depende, sobretudo, da técnica do montador. Os conhecimentos de montagem são passados de geração em geração.

Resumindo, a utilização de um andaime em bambu é particularmente vantajosa pelo seu reduzido rácio entre resistência e peso próprio, pelo fácil manuseamento e pela elevada adaptabilidade à forma dos edifícios.

### 5.3.2. FUNDAÇÕES

Existem vários tipos de fundações rudimentares em bambu identificadas, que se adequam à situação e à matéria-prima disponível. Passam-se a enumerar os tipos de fundação identificados e abordados em seguida [10]:

- Assentes diretamente no solo;
- Assentes na rocha ou em blocos de betão;
- Incorporadas nas fundações de betão;
- Colmos injetados com calda de cimento;
- Compósitos de bambu e betão.

#### **a) Assentes diretamente no solo**

Nesta solução os colmos assentam diretamente no solo, podendo ficar à superfície ou ser enterrados. Este tipo de contato acelera a degradação do bambu, prevendo-se que os colmos apresentem um período de vida estimado entre os seis meses e os dois anos., pelo que se estipula a necessidade de submeter os colmos a tratamento. Para maiores estabilidade e resistência, deverão ser escolhidos colmos com diâmetros grandes, paredes espessas e espaçamento reduzido entre os nós. Caso não se disponha desse tipo de colmo, poderão ser unidos vários colmos de diâmetros menores.

#### **b) Assentes na rocha ou em fundações de betão**

Ideal para situações em que se pretendam movimentos translacionais laterais, e um isolamento do contato com o solo. Esse afastamento do solo pode ser realizado através de rochas ou de blocos de betão pré-fabricados, conforme é visível no esquema da figura 5.3. À semelhança do ponto anterior, deverão ser usados os colmos tão grandes quanto possível.

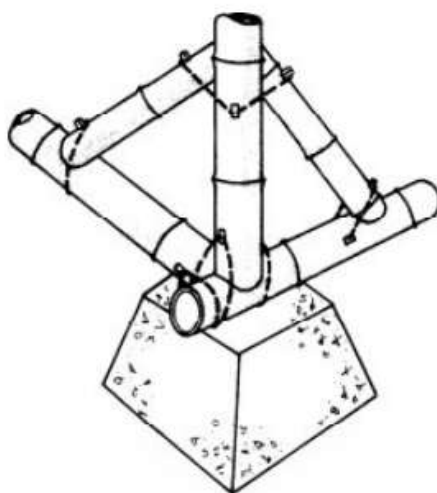


Figura 5.3. – Esquema de uma fundação de um colmo assente num bloco de betão [10]

### c) Incorporadas nas fundações de betão

Este tipo de solução poderá ser obtido de duas formas: através da incorporação do colmo na fundação durante a sua betonagem, ou encaixe do colmo numa fundação de betão pré-moldada. Quando bem executadas, ambas as soluções são eficazes. Se o for colmo incorporado durante a betonagem, a região integrada deverá ser impregnada de um adesivo. Se o colmo for apenas encaixado, o colmo deverá ser aparafusado à fundação. Desta forma evitam-se quaisquer movimentos, quer translacionais, quer rotacionais, característica pretendida nos pontos-chave da estrutura (Figura 5.4.).

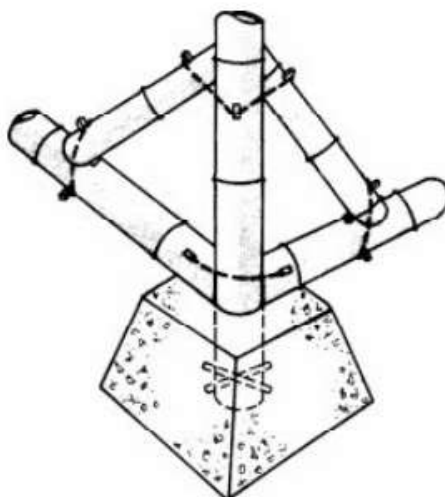


Figura 5.4. – Esquema de uma fundação de um colmo incorporado num bloco de betão [10]

#### d) Colmos reforçados com calda de cimento

Para aumentar as características mecânicas dos colmos de bambu é também viável a injeção de calda de cimento, não expansível, nos colmos do bambu, obtendo dessa forma uma coluna ou pilar mais consistente e facilmente fixável (Figura 5.5.).

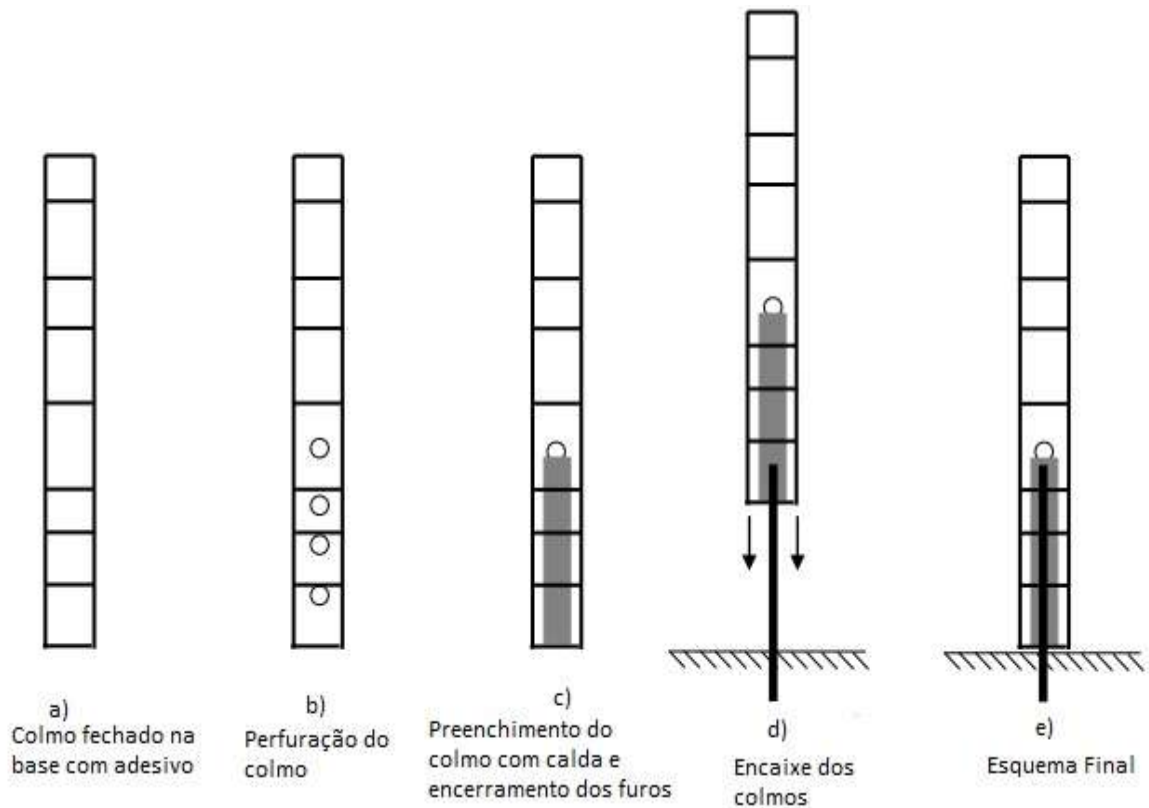


Figura 5.5. – Fases de Construção de um pilar [4]

Vejam os um caso prático de execução de um pilar em bambu reforçado com calda de cimento.

O colmo é perfurado longitudinalmente e transversalmente, de forma a permitir uma dispersão equilibrada da calda que, de outra forma, concentrar-se-ia nas bolsas limitadas pelas membranas internas dos nós. Posteriormente há injeção de calda de cimento sucedida de um encaixe, enquanto a mistura está num estado viscoso. O encaixe é realizado num varão de aço previamente fixado ao solo. A ligação aderente entre o varão, a calda de cimento curada e as paredes do colmo, garante a fixação e segurança necessárias ao elemento.

Esta tecnologia foi testada laboratorialmente e sujeita aos ensaios de arrancamento, conforme se pode observar na figura 5.6. Podem ocorrer 3 tipos de mecanismos de rotura: rotura do varão, rotura da ligação entre o varão e a calda de cimento e rotura da ligação entre a calda de cimento e a parede do colmo de bambu.

Estes três tipos de rotura podem ser precavidos com aumento do diâmetro do varão, embebimento do varão e das paredes interiores do bambu com uma solução adesiva, consoante o caso.

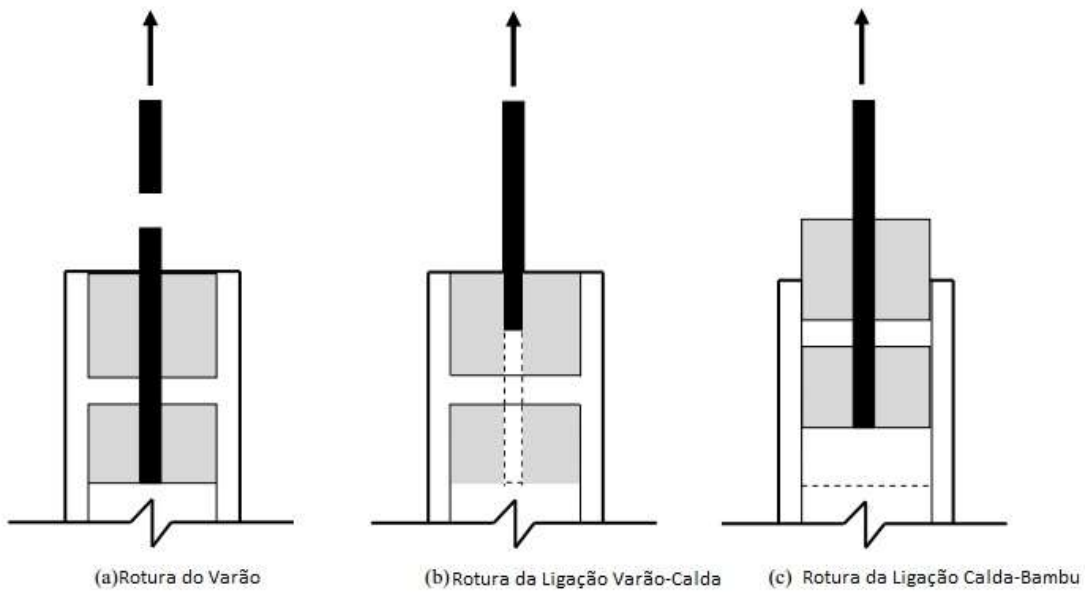


Figura 5.6. – Esquema dos três tipos de rotura [4]

#### e) Compósitos de bambu e betão

Uma solução de desenvolvimento mais recente, considerando-se inovadora, envolve a fundição de uma extensão de betão a um colmo de bambu, usando um tubo de plástico de diâmetro idêntico. Dessa fundição resulta uma solução de fundação integral e durável, conforme é observável na figura 5.7.

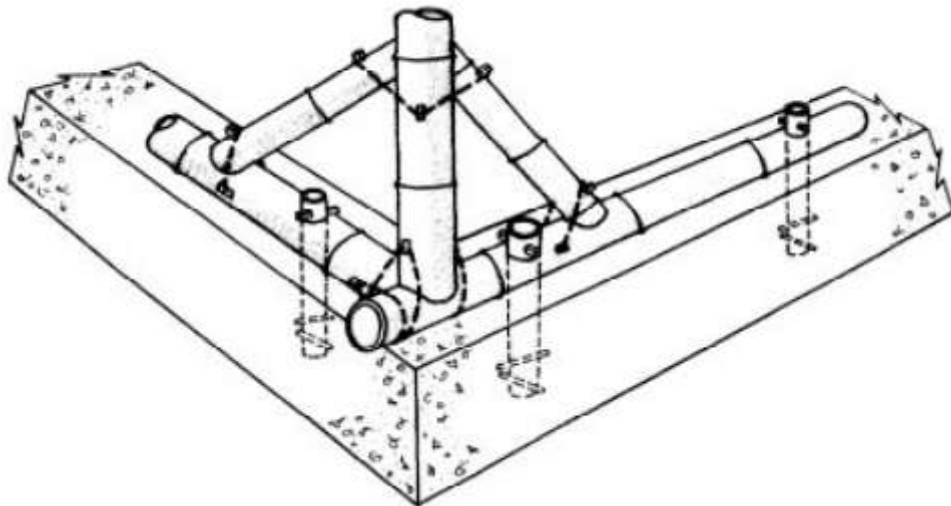


Figura 5.7. – Esquema de uma fundação de um composto de bambu e betão [10]

### 5.3.3. PAVIMENTOS

O chão de uma edificação em bambu consiste, na maioria das construções rurais, apenas no solo natural do local, ou submetido a um simples processo de compactação, ou com um pequeno tapete de tiras de bambu entrelaçadas. Essas soluções, além de não serem relevantes para a presente dissertação, não acrescentam qualquer qualidade à construção. Como tal, é preferível uma solução de um pavimento elevado relativamente ao solo natural, providenciando maior conforto associado ao isolamento térmico acrescido, maior higiene da construção e uma zona de armazenamento coberta. A elevação do pavimento deverá ser igual ou superior a 50 centímetros medidos do solo, para permitir uma inspeção fácil e eficaz [11].

Poderá então dividir-se os componentes de um pavimento vernacular em bambu, em duas categorias:

- Estrutura em bambu;
- Pavimentação em bambu.

#### a) Estrutura em bambu

A estrutura primária de um pavimento em bambu consiste, na maioria das vezes, na fixação de colmos de bambu, que funcionam como vigas, às fundações ou aos pilares da estrutura principal. Nesse sentido, essas vigas acabam por formar o perímetro da construção.

Refira-se que os colmos desta estrutura primária, que funcionam como vigas, deverão apresentar um diâmetro aproximado de 10 centímetros, e que as ligações deverão ser cuidadosamente executadas, conforme especificado no ponto 5.4. da presente dissertação.

Posteriormente, dependendo do tipo de pavimentação utilizada, pode realizar-se uma estrutura secundária, a qual consiste no atravessamento de metades de colmos menores, de aproximadamente 7 centímetros de diâmetro, à volta do perímetro entre os pontos de menor afastamento entre si, conforme é visível na figura 5.8. Frequentemente, esta estrutura secundária carece de qualquer fixação à estrutura primária, apesar de tal se recomendar.

De referir que, perante a existência de uma estrutura secundária, os colmos da estrutura primária devem ser de diâmetro até 5 vezes superior, chegando aos 500 milímetros.

É possível observar nas figuras 5.8. e 5.9, o espaçamento habitualmente dado aos colmos, quer da estrutura primária, quer da estrutura secundária.



Figura 5.8. – Esquema de uma estrutura de pavimento de bambu n°1 [10]

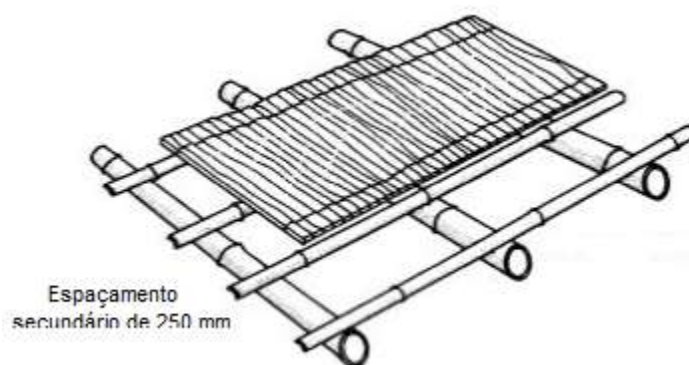


Figura 5.9. – Esquema de uma estrutura de pavimento de bambu nº2 [10]

### **b) Pavimentação em bambu**

A pavimentação em bambu pode ser executada dentro do seguinte rol de soluções:

- Colmos de bambu de pequeno diâmetro;
- Metades de Colmo de bambu;
- Placas de bambu desenrolado;
- Esteiras em bambu;
- Painéis de bambu.

#### **b.1) COLMOS DE BAMBU DE PEQUENO DIÂMETRO**

Conforme sugere o nome, esta solução de pavimentação, cujo esquema é visível na figura 5.10, consiste na amarração ou pregagem dos colmos de bambu de pequeno diâmetro, aos colmos estruturais referidos no ponto 5.3.3.a).

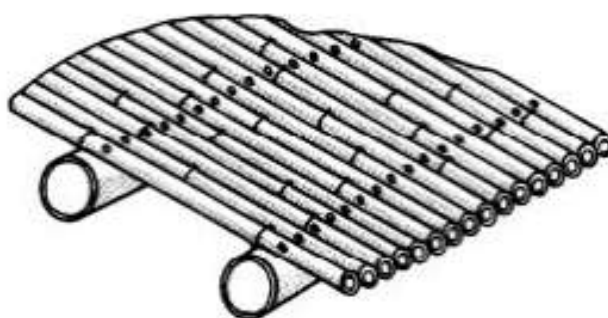


Figura 5.10. – Esquema de pavimento de colmos de pequeno diâmetro [10]

### b.2) METADES DE COLMO DE BAMBU

Os colmos, preferencialmente de diâmetro elevado, são divididos longitudinalmente, originando duas superfícies côncavas, que podem ser fixadas diretamente à estrutura primária através de amarração e pregagem, apesar de ser recomendada a utilização de uma ripa de madeira entremeando essa ligação. Esta solução está esquematizada na figura 5.11.

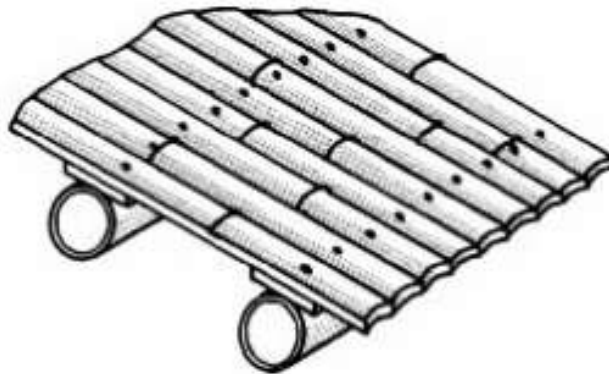


Figura 5.11. – Esquema a de pavimento de metades de colmos de bambu [10]

### b.3) PLACAS DE BAMBU DESENROLADO

Estas placas de bambu são executadas através da remoção dos diafragmas dos colmos verdes de bambu, e posterior desenrolamento do colmo. Esta técnica só é possível com os colmos verdes, devido ao seu elevado teor em água, que evita a fissuração e quebra das paredes do colmo. A secagem do bambu, na sua forma plana, permite a retração das fibras e a obtenção de valores de resistência mecânica satisfatórios. As placas são ligadas à estrutura como a solução anterior: diretamente ou entremeadas de uma ripa de madeira.

Esta solução de pavimento, à semelhança das duas anteriores, é irregular e de limpeza dificultada. Pode ser aplicada, para aumento do conforto e higiene, uma argamassa de cimento.

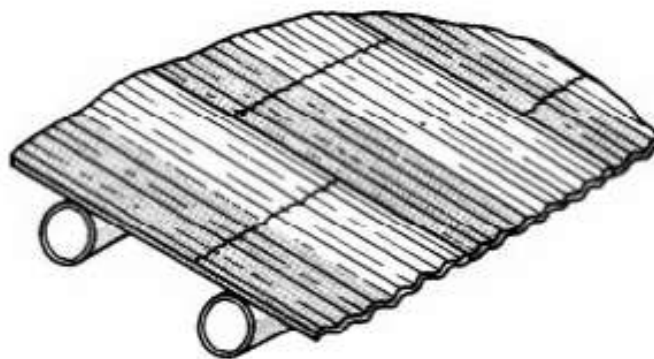


Figura 5.12. – Esquema de pavimento de placas de bambu desenrolado [10]

#### b.4) ESTEIRAS EM BAMBU

Este tipo de solução é obtido através do entrelaçamento de pequenas tiras de bambu, que dimensionalmente variam entre 2 x 1 mm até 20 x 2 mm., dependendo do quão complexo é o padrão da esteira. Na figura 5.13 expõem-se alguns exemplos de padrões de esteiras em bambu.

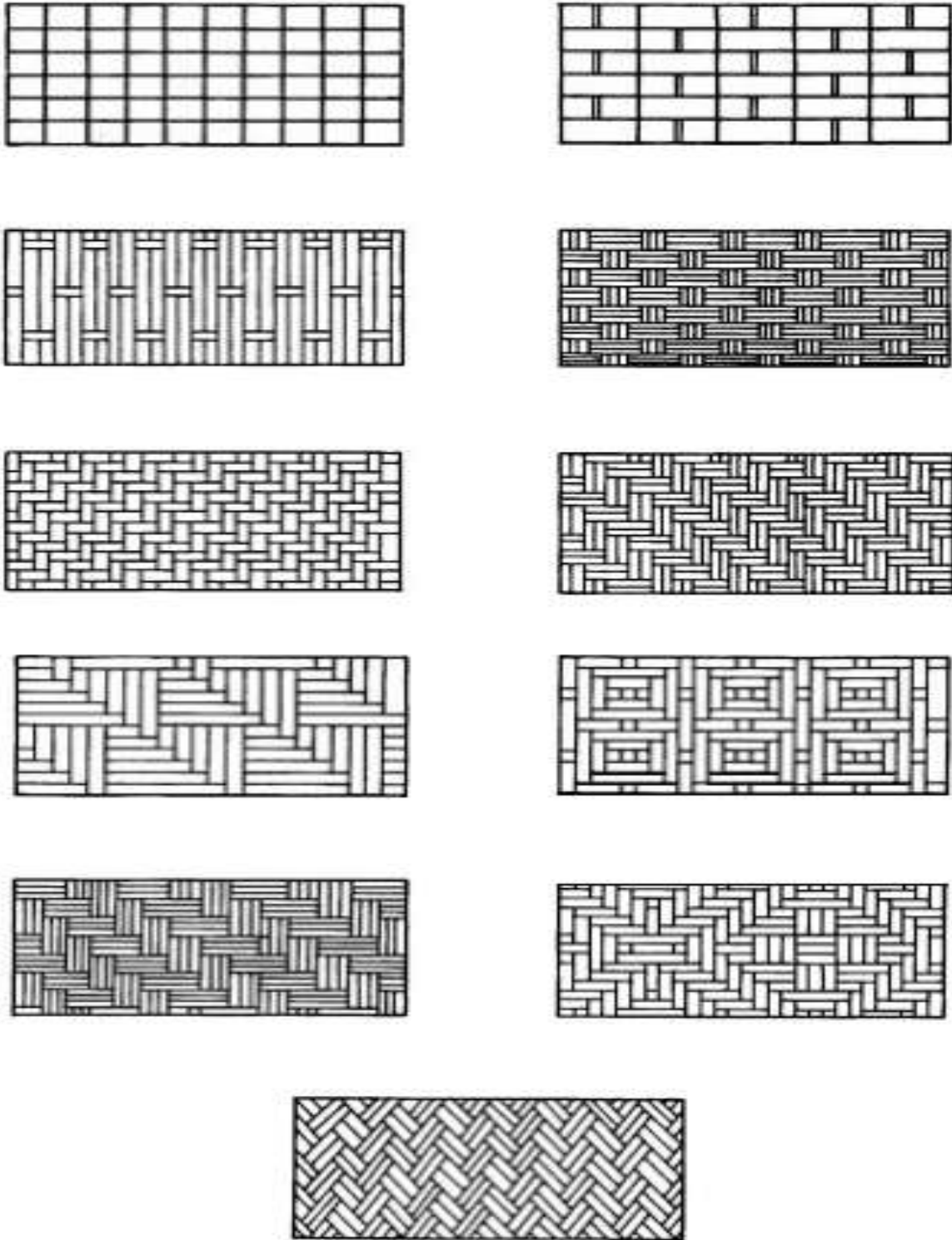


Figura 5.13. – Padrões de esteiras de bambu manufaturadas [10]

Estas esteiras não deverão ser fixadas por pregagem direta, mas prensadas por tiras de bambu que estarão unidas por pregagem ou amarração à estrutura do pavimento, conforme é observável na figura 5.14. A limpeza desta solução de pavimento é a mais fácil, de entre o rol de soluções abordadas.

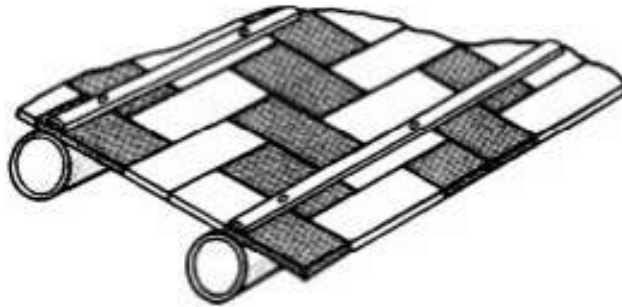


Figura 5.14. – Esquema de pregagem das esteiras ao pavimento [10]

#### b.5) PAINÉIS DE BAMBU

Os painéis em bambu, como componente, foram já abordados no ponto 4.3., pelo que a definição deste componente é remetida para esse ponto. Relativamente à solução de pavimentação, resta referir que os painéis assentam numa estrutura horizontal de colmos, à qual os painéis são fixados por pregagem.

#### 5.3.4. PAREDES

O uso mais extensivo do bambu na construção civil é na execução de paredes e divisórias. Geralmente, os colmos, orientados verticalmente e horizontalmente, constituem o “esqueleto” de uma construção em bambu, como tal são incumbidos de suportar o peso próprio do edifício e as cargas inerentes à utilização, aos elementos meteorológicos e a eventuais sismos.

Contudo, numa construção é preciso atentar no conforto além da segurança e estabilidade, e nesse sentido surge a necessidade de empregar a construção, para proteção contra chuva, vento, animais, e para providenciar a privacidade desejada. De referir que, para este fim, é indispensável uma articulação eficiente e adequada entre os colmos, conforme exposto no ponto 5.4.

Assim, temos as seguintes soluções de parede:

- Paredes de colmos inteiros ou divididos;
- Paredes de placas de bambu desenrolado;
- Bajareque;
- Parede de malha larga;
- Parede de malha estreita;
- Paredes de painéis de bambu.

### a) Paredes de colmos inteiros ou divididos

Esta solução construtiva de parede apresenta algumas variantes quanto à sua forma e aspeto final. Os colmos podem estar dispostos na vertical ou na horizontal, apesar de se recomendar a orientação vertical devido ao aumento da resistência ao corte, melhor drenagem das águas pluviais, e maior facilidade na montagem e assentamento no solo, ou noutros elementos de fundação suprarreferidos no ponto 5.3.2. Para melhor fixação dos colmos, recomenda-se a interligação através da pregagem a ripas de madeira horizontais, conforme é visível na figura 5.15.

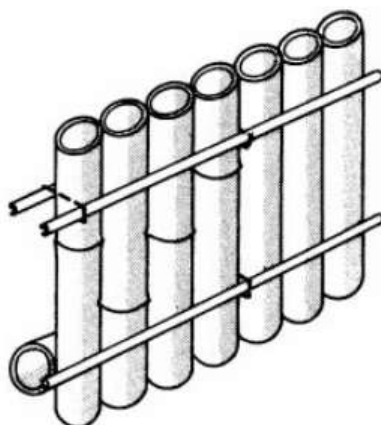


Figura 5.15. – Esquema de uma parede de colmos inteiros [10]

Os colmos inteiros podem ser substituídos por metades de colmos conforme se demonstra na figura 5.16. Podem ter o mesmo tipo de fixação, quer seja uma camada simples, uma camada dupla, ou uma ancoragem entre as duas metades.

Em ambas as soluções, metades de colmos ou colmos inteiros, as paredes podem ser revestidas por esteiras de bambu tanto no interior como no exterior. O revestimento, de método semelhante ao exposto no ponto 5.3.3.2., pode ser atado à estrutura ou prensado através de ripas de madeira pregadas.

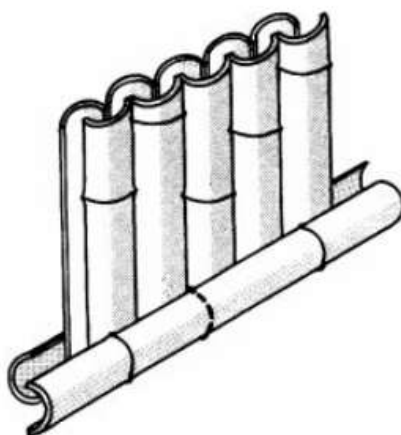


Figura 5.16. - Esquema de uma parede de metades de colmos [10]

### b) Paredes de placas de bambu desenrolado

Esta solução é equiparada à técnica exposta para os pavimentos (ponto 5.3.3.b)): ao bambu verde são removidos os diafragmas dos nós, e posteriormente os colmos são desenrolados até formarem uma placa horizontal que adquire resistência mecânica com a retração devido à secagem.

Estas placas são fixadas aos colmos estruturais verticais, preenchendo dessa forma o vazio entre eles. Apesar de serem relativamente planas, estas placas apresentam uma superfície irregular. Como tal, é possível cobri-las por uma malha metálica para posterior realização do reboco. Para regularização da superfície, poderá ser aplicada, à semelhança das soluções anteriores, uma esteira de bambu de padrão cerrado, com ou sem aplicação prévia de gesso.

### c) Bajareque

Este tipo de parede, correntemente usada na América do Sul, consiste na fixação, através de pregagem ou amarração, de várias fiadas de tiras de bambu orientadas e espaçadas horizontalmente em ambos os lados dos colmos estruturais verticais. Obtém-se dessa forma, conforme visível na figura 5.17., uma estrutura que suportará o enchimento que é, normalmente, composto por lama com, ou sem, pedras.

Posteriormente, para a obtenção de uma superfície regular, é possível aplicar gesso cartonado, fixando-o às tiras de bambu horizontais que constituem a estrutura da parede.

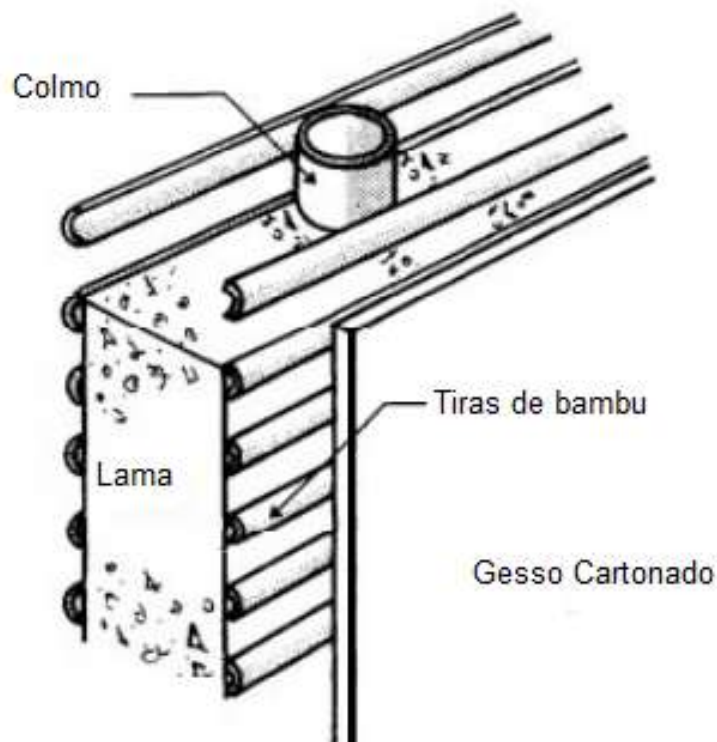


Figura 5.17. - Esquema de uma parede de Bajareque [10]

#### d) Parede de malha larga

A parede de malha, em inglês *Wattle*, recorrentemente utilizada na Índia, Chile e Peru, consiste em painéis de tiras de fibras de bambu entrelaçadas grosseiramente, e revestidos com gesso cartonado em ambos os lados. As tiras verticais constituintes do entrelaçado, são fixadas ao colmo vertical da estrutura principal da construção, conforme é visível na figura 5.18.

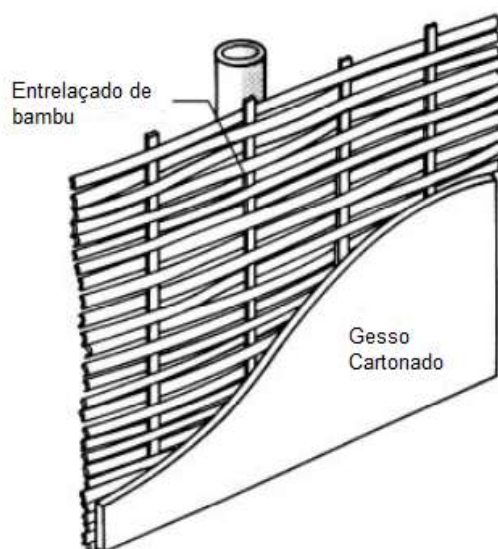


Figura 5.18. - Esquema de uma parede de malha larga [10]

#### e) Parede de malha estreita

Esta solução, é semelhante à solução anterior, mas o espaçamento entre as tramas é substancialmente mais reduzido, podendo assim dispensar-se a aplicação do gesso, mantendo a parede conforme se observa na figura 5.19.

A dispensa da aplicação do gesso, obriga à aplicação de conservantes, os quais deverão ser selecionados atentando às questões de segurança, saúde e ambiente.

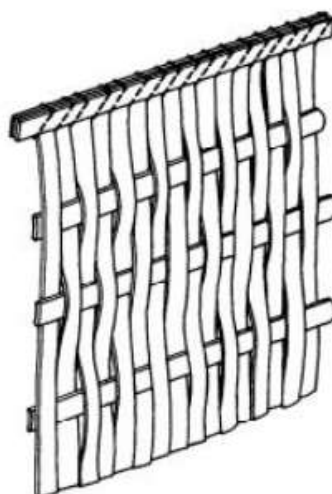


Figura 5.19. - Esquema de uma parede de malha estreita [10]

## **f) Paredes de painéis de bambu**

Os painéis de bambu, abordados no ponto 4.4, foram objetivamente desenvolvidos para a execução de paredes e divisórias

Como tal, as paredes de painéis de contraplacado de bambu são altamente eficientes na obtenção dos índices de higiene, segurança e conforto indispensáveis na melhoria da qualidade de vida. Apresentam a vantagem adicional de incrementarem a estabilidade da estrutura.

Estes painéis podem ser usados como alternativa ao gesso cartonado, nas soluções de paredes, previamente abordadas.

### **5.3.5. COBERTURAS**

A cobertura é, ainda que discutível, a parte mais importante de uma construção. É, como tal, objetivamente executada no sentido de obter proteção contra os elementos meteorológicos, providenciando um ambiente higiênico, confortável e seguro.

Acima de tudo, uma cobertura deve ser resistente o suficiente para suportar quaisquer cargas exercidas e nesse sentido, o bambu é o material ideal para a execução de uma cobertura dado que, é leve, flexível e resistente.

Assim, podemos dividir os componentes de uma cobertura em duas categorias:

- Estrutura;
- Revestimento da cobertura.

#### **a) Estrutura**

##### **a.1) ESTRUTURA TRELIÇADA**

Uma estrutura treliçada oferece muitas vantagens comparativamente com uma estrutura tradicional, incluindo maior economia e eficiência dos materiais utilizados, a capacidade de vencer vãos extensos, a capacidade de usar elementos de extensão mais reduzida, e a possibilidade de recorrer à pré-fabricação.

É uma solução que, atualmente, está substancialmente desenvolvida devido ao elevado número de estudos e ensaios realizados.

Este desenvolvimento permitiu realçar a fraqueza relativa das juntas, e do próprio bambu quando está sujeito a esforços de compressão. Contudo, a maior parte da deflexão da treliça carregada deve-se à deformação das articulações e juntas. Vejam-se os exemplos de estrutura treliçada na figura 5.20.

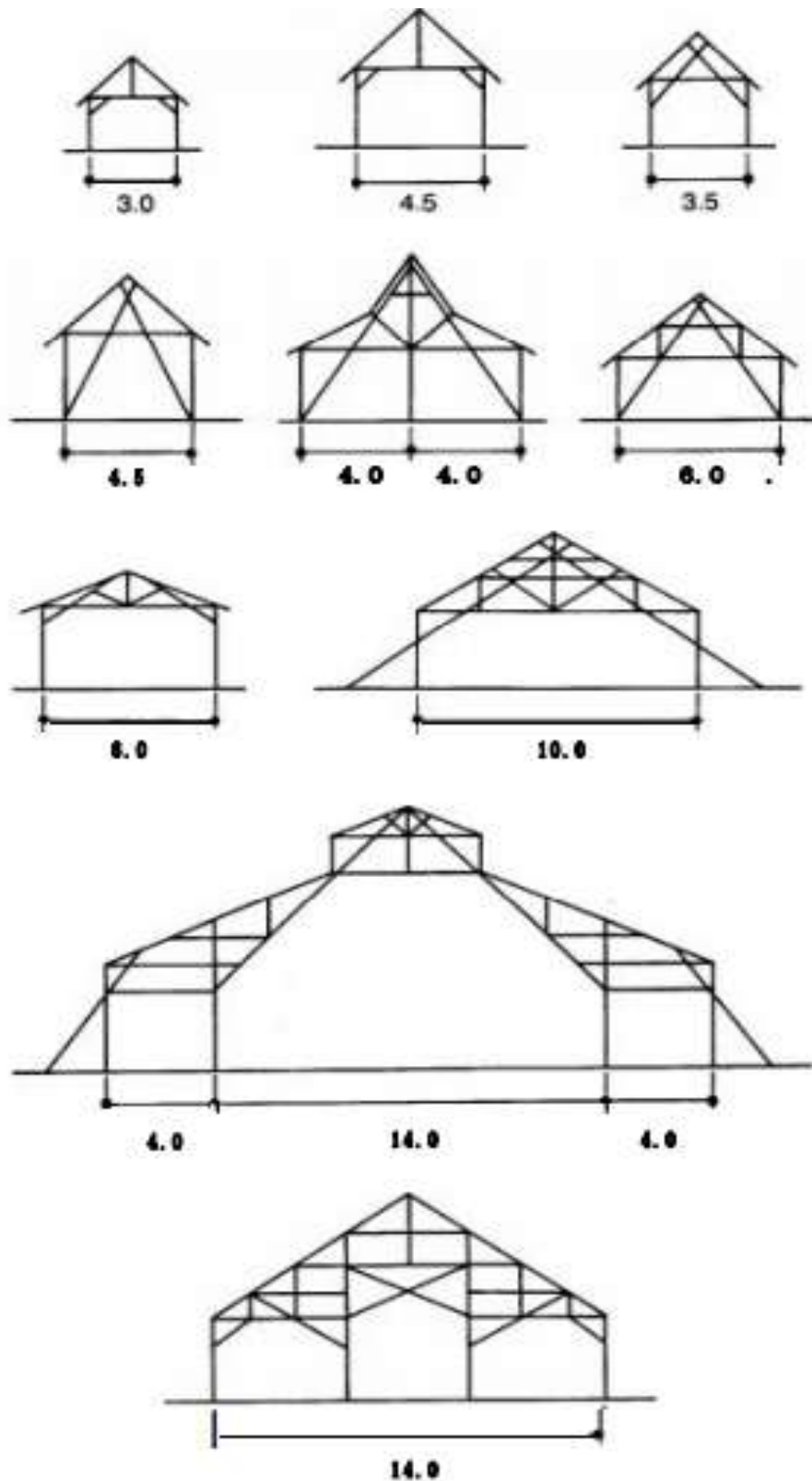


Figura 5.20 - Esquema estrutural de treliça [10]

São muitas as configurações individuais de treliça, e com uma grande diversidade. As treliças denominadas de *King-Post* e *Fink*, respectivamente observáveis nas figuras 5.21. e 5.22., são as mais simples e vencem vãos de 4 metros usando apenas ligações tradicionais.

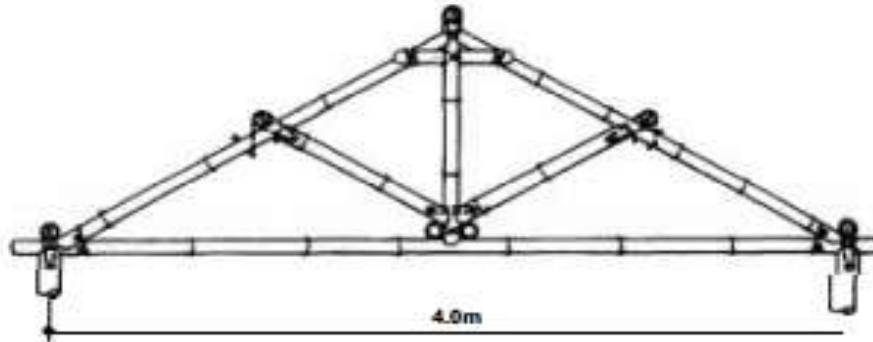


Figura 5.21. – Esquema de treliça de King-Post de 4 metros [9]

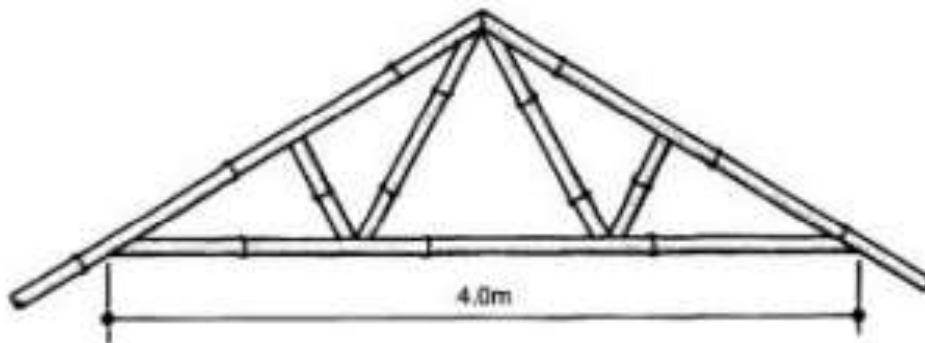


Figura 5.22. – Esquema de treliça de Fink de 4 metros [9]

Na figura 5.23. é possível observar uma treliça desenvolvida por Janssen [9], capaz de ultrapassar um vão de 8 metros de extensão, recorrendo a ligações melhoradas.

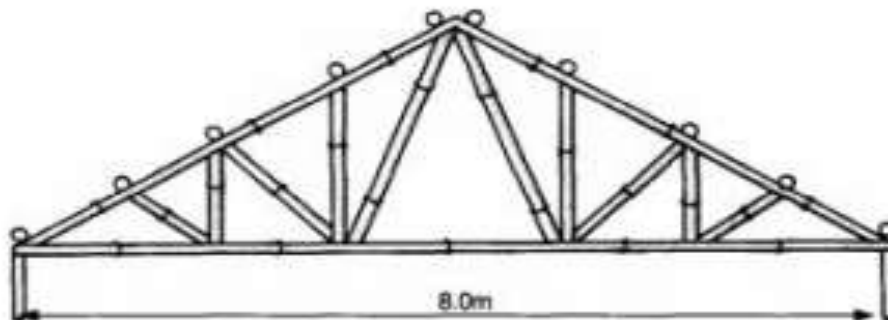


Figura 5.23. – Esquema de treliça melhorada de Janssen de 8 metros [9]

A inclinação das treliças deve ser igual ou superior a 30° em regiões com precipitações intensas. O espaçamento entre as treliças deve ser regular, situando-se entre os 2 e os 3 metros.

Naturalmente será necessário atentar nas cargas aplicadas e adequar a arquitetura da treliça a esses esforços.

#### a.2) COBERTURA TRADICIONAL

É a forma mais simples de estrutura de cobertura em bambu com uma madre e calhas assentes nos postes periféricos. Metades de colmos são então dispostas com o lado convexo virado para baixo, de ponta a ponta, com comprimento igual à distância entre o cume e o beiral.

Posteriormente é colocada uma segunda camada de metades de colmos, com o lado convexo virado para cima, por forma a sobrepor-se às uniões dos colmos da primeira camada, conforme se vê na figura 5.24.

As telhas não deverão exceder os 3 metros de comprimento.

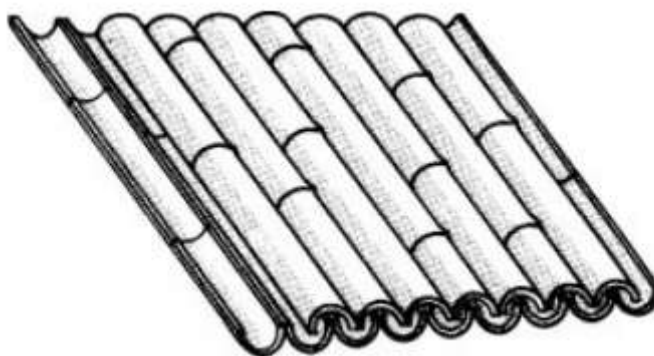


Figura 5.24. – Esquema de cobertura tradicional [11]

Alternativamente, as metades de colmos podem ser substituídas por colmos inteiros devidamente espaçados, para permitir o encaixe de ripas de fixação. Além destas, as opções de disposição dos colmos é vasta. Desde que as ligações sejam devidamente executadas, a eficácia das soluções é satisfatória.

#### **b) Revestimento da cobertura**

O revestimento de cobertura pode ser parte integrante da estrutura, como a cobertura tradicional abordada no ponto anterior. Contudo, habitualmente o revestimento não desempenha um papel estrutural, podendo ser classificado de uma das seguintes formas:

- Cobertura de camada dupla;
- Cobertura de telhas em lanceta;
- Cobertura ondulada em painel.

### b.1) COBERTURA DE CAMADA DUPLA

Este tipo de cobertura é composto por camadas duplas de telhas de metades de colmo. Cada fiada de telhas é enroscada numa tira e amarrada a um colmo que funciona como perfil estrutural.

As fiadas de telhas são fixadas ao perfil do telhado, por forma a impedir o deslizamento para fora, sequencialmente até ao topo. A estrutura da cobertura poderá ser executada em bambu, mas é tradicionalmente realizada em madeira.

Esta cobertura é, de todas, a mais onerosa e com maior peso próprio. Com espessura máxima de um metro, esta solução assemelha-se mais a um emparedamento do teto do que a uma cobertura tradicional. As figuras 5.25. e 5.26 são ilustrativas desta solução.



Figura 5.25 – Cobertura de camada dupla [11]

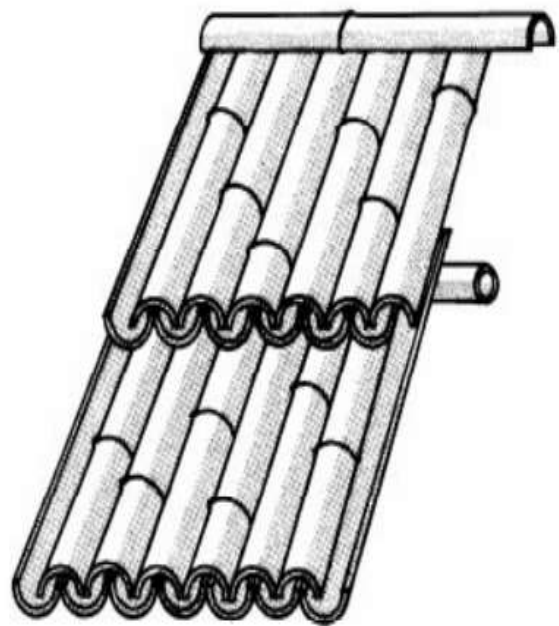


Figura 5.26. – Esquema de Cobertura de Camada Dupla [11]

### b.2) COBERTURA DE TELHAS EM LANCETA

Com dimensões situadas entre os 30 e os 40 milímetros de largura e os 400 e os 600 milímetros de comprimento, as telhas em lanceta são feitas a partir de colmos verdes com 70 milímetros de diâmetro ou mais, e posteriormente sujeitas a secagem natural. As lancetas são ligadas a ripas de bambu, espaçadas de 150 milímetros, através de uma “língua” realizada na produção a partir da casca do colmo.

São necessárias três camadas de telha para tornar a cobertura estanque, o que resulta numa concentração de 200 telhas por metro quadrado. Poderá ser necessário proceder a uma pregagem em zonas cujo vento é propenso a atingir velocidades relativamente elevadas.

O esquema da figura 5.27. permite uma melhor compreensão desta solução construtiva.

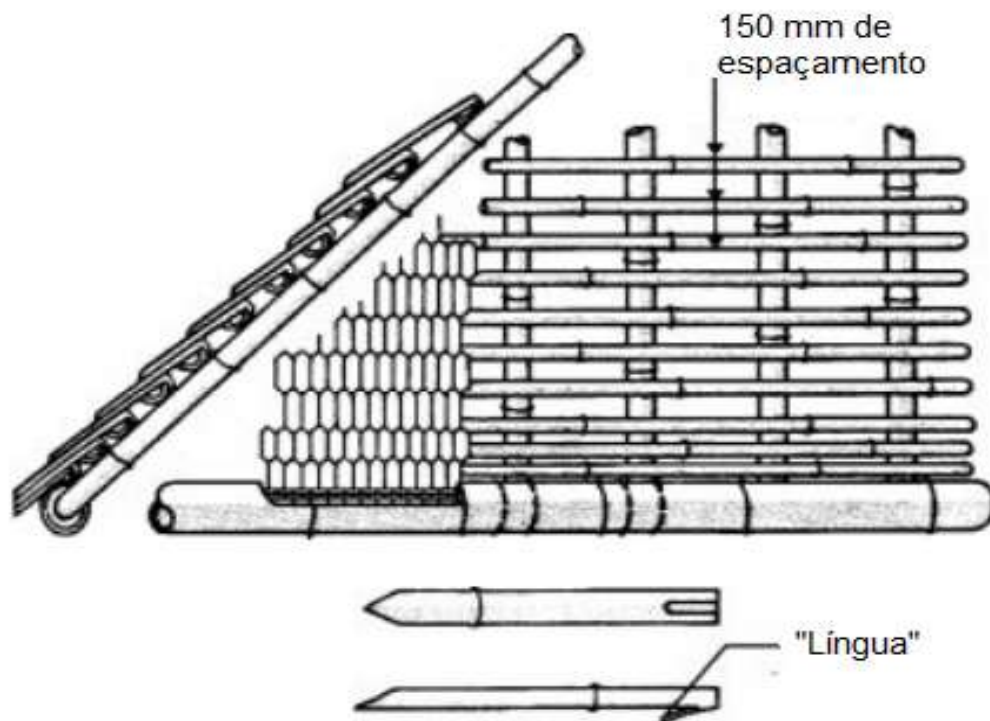


Figura 5.27 – Esquema de uma cobertura de telhas em lanceta [11]

### 5.3.6. CONSTRUÇÕES RURAIS

As construções rurais são, de todos os tipos de edificação, onde o bambu predomina constituindo-se como o principal componente. Obviamente, e conforme já foi referido, isto verifica-se apenas nos locais onde existe acesso fácil à matéria-prima e tradição construtiva concomitante. Não são mais do que o somatório das técnicas de soluções construtivas abordadas neste capítulo até este ponto.

De forma lógica, pode concluir-se que a aplicação deste material surgiu na sequência das necessidades dos aldeões, ao nível da habitação, que sempre careceram de elevadas tecnologias ou ferramentas.

As casas em bambu (figura 5.28.) são, na maioria dos casos, construções de piso elevado assente em postes verticais enterrados no chão, os quais oferecem a maioria da estabilidade estrutural final. A diversidade dos componentes utilizados é escassa, cingindo-se a metades de colmos, colmos inteiros, cordas, placas de bambu e ripas. Este tipo de construção apresenta as suas vantagens, nomeadamente, o processo construtivo simples e fácil, tanto na construção como na reparação, a reutilização dos materiais utilizados, e a pré-fabricação dos elementos aplicados.

Ao nível das cargas há que, apenas, considerar o peso próprio, o vento, as cargas de utilização, e o peso da água da chuva. Relativamente à atividade sísmica, este tipo de estruturas apresenta um elevado índice de segurança justificado pela elevada ductilidade dos componentes e reduzido peso próprio.



Figura 5.28 – Habitação de estrutura vernacular de bambu [7]

Contudo, o bambu não é utilizado apenas na construção de habitação, sendo também empregue na conceção de edificações de apoio à agricultura ou à pecuária. Conforme é visível na Figura 5.29, é exequível a realização de uma estrutura de uma estufa em bambu.



Figura 5.29. – Estufa com estrutura em bambu [13]

### 5.3.7. PONTES E PASSAGENS PEDONAIAS

Uma ponte pode ser definida como uma estrutura elevada que permite o vencimento de um obstáculo físico, como um vale ou um rio. São inúmeras as formas de concepção de uma ponte, apesar de todas terem a mesma finalidade.

As pontes de bambu, no entanto, são tipicamente de construção de cavalete e de espaço limitado para, geralmente, tráfego pedestre. Estruturas simples treliçadas também foram testadas no passado, e provaram ser capazes de suportar cargas consideráveis.

Faz-se em seguida, uma descrição de alguns tipos de pontes em bambu.

#### a) PONTE PEDONAL

Este tipo de ponte (Figura 5.30.) consiste na disposição sequencial de cavaletes simples, que suportam no centro a superfície de passagem. Esta solução é adequada para ribeiros com margens arenosas ou lamacentas, para alturas inferiores a 5 metros acima do leito. Os colmos devem ter um diâmetro situado entre os 50 e os 75 milímetros, e são unidos com amarrações de fibras de bambu. A extensão típica deste tipo de ponte é de cerca de 20 metros.

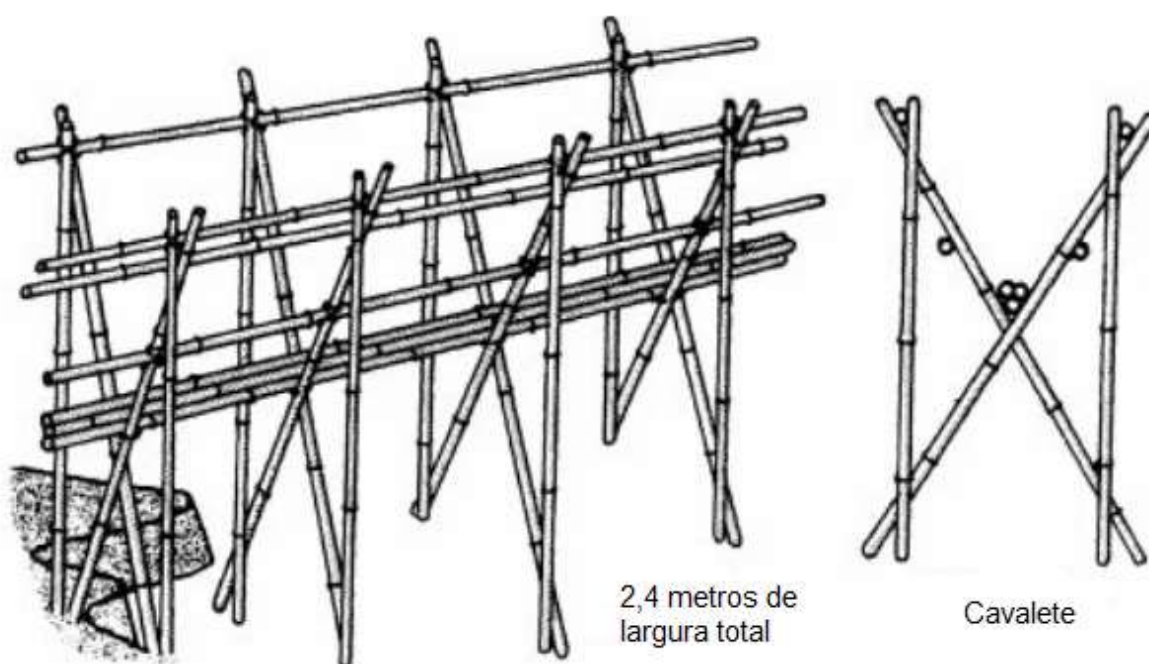


Figura 5.30. – Esquema de estrutura de ponte pedonal [10]

### b) PONTE DO CARRINHO DE MÃO

Esta é uma construção mais elaborada, com pilares e estacas auxiliares nas secções de apoio, que estão espaçadas de 3 metros. Os pilares são formados a partir de pares de colmos e enterrados no solo. O diâmetro dos colmos dos postes deverá situar-se entre os 80 e os 120 milímetros, com uma das extremidades a ser cortada em forma de estaca. Um par de colmos na horizontal encaixa no topo dos postes formando um corrimão de segurança.

A estrutura da superfície de passagem é formada por três colmos dispostos longitudinalmente, que deverão ter diâmetro mínimo de 100 milímetros, e são amarrados com casca de bambu aos pilares. A superfície de passagem é realizada com colmos, cortados à medidas, dispostos e amarrados transversalmente.

Este tipo de ponte é capaz de suportar 200 Kg por cada metro de extensão. Este valor foi definido com base nas cargas que os aldeões levavam nos seus carrinhos de mão aquando da passagem na ponte.

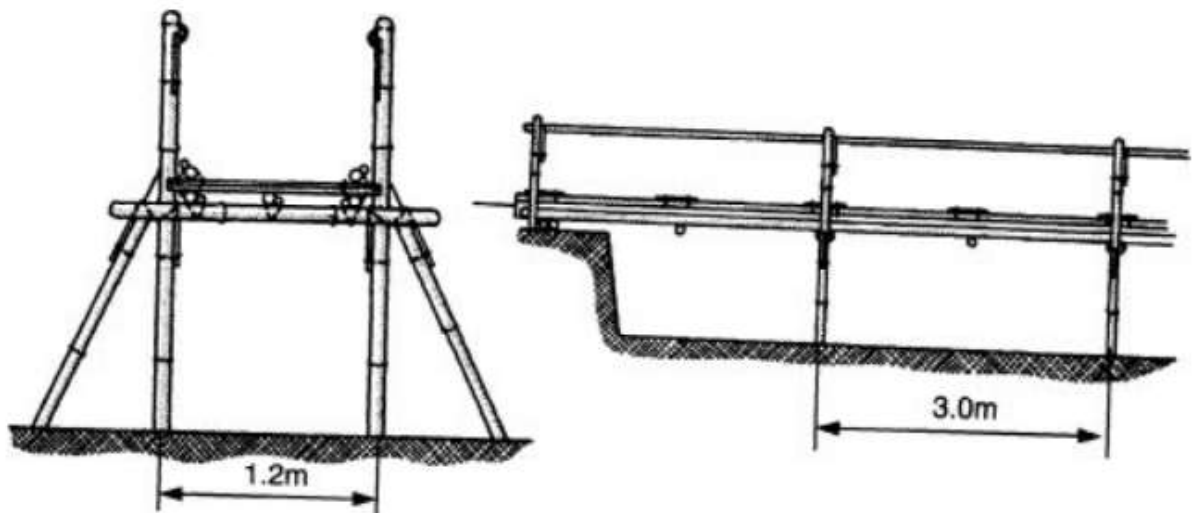


Figura 5.31. – Esquema de estrutura de ponte do carrinho de mão [10]

### c) PONTE DE PEQUENO TRÁFEGO

Esta é uma versão mais “musculada” da ponte do carrinho de mão (figura 5.32). Inclui 4 postes por seção de apoio de igual afastamento à anterior, e o dobro das estacas auxiliares. A amarração é também reforçada com a adição de dois elementos de ligação oblíquos. A estrutura de suporte da superfície de passagem é composta por pares de colmos dispostos longitudinalmente e espaçados transversalmente. A superfície de passagem é realizada da mesma forma com colmos dispostos e amarrados transversalmente. Este tipo de solução é capaz de suportar 500 Kg por metro de extensão, como por exemplo rebanhos de animais, ou pequenas carroças de tração animal.

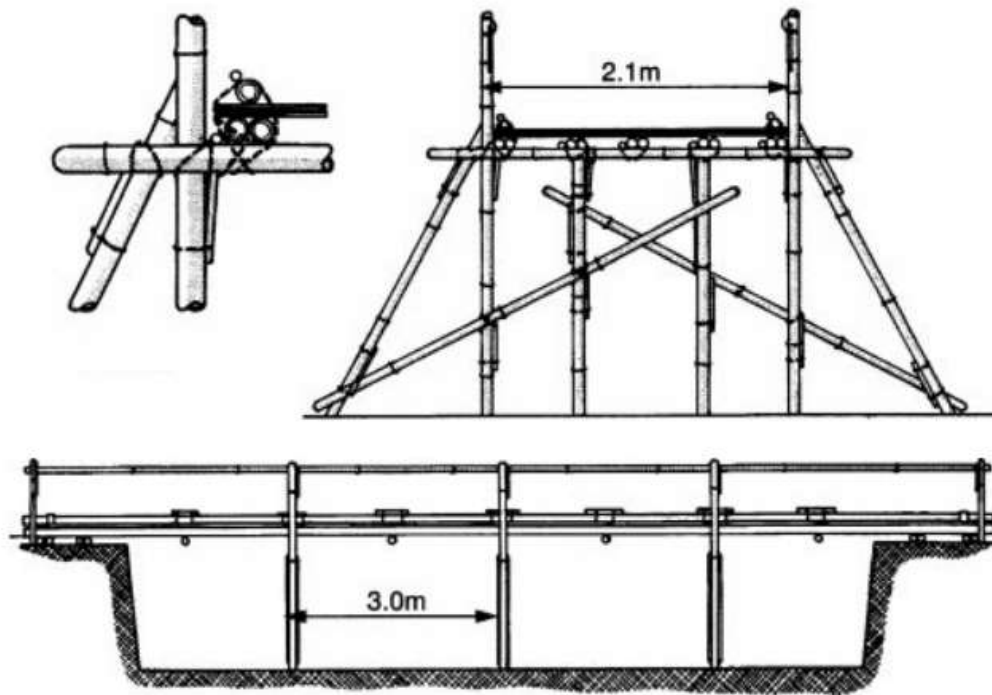


Figura 5.32 – Esquema de estrutura de ponte de pequeno tráfego [10]

#### d) PONTE DE TRELIÇA SIMPLES

Esta ponte (Figura 5.33.) é especialmente adequada para a travessia de leitos de rios particularmente fundos. Apresenta um vão de 4 metros, e faz a transmissão das forças às estacas através da estrutura triangular. A estrutura de suporte em tesoura é composta por colmos com diâmetros situados entre os 100 e os 120 milímetros, que são estabilizados por elementos diagonais. A superfície de passagem e a respetiva estrutura é realizada de forma similar à ponte do carrinho de mão, e a sua capacidade de carga é também idêntica.

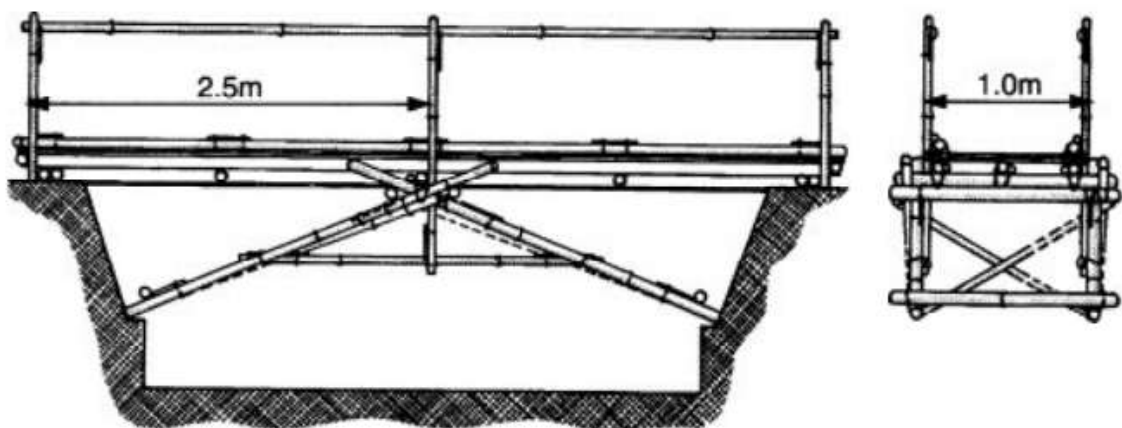


Figura 5.33 – Estrutura de Ponte de treliça Simples [10]

#### e) PONTE PYLON

Postes de bambu pré-fabricados, ou torres, são dispostos em intervalos regulares ao longo do leito de um rio raso usando um cabo teleférico aéreo para a disposição. Posteriormente realiza-se a estrutura de suporte de passagem com colmos horizontais amarrados às torres de suporte. Este tipo de ponte será capaz de suportar cargas tanto maiores quanto maiores forem os diâmetros dos colmos horizontais, e menor a distância entre as torres.

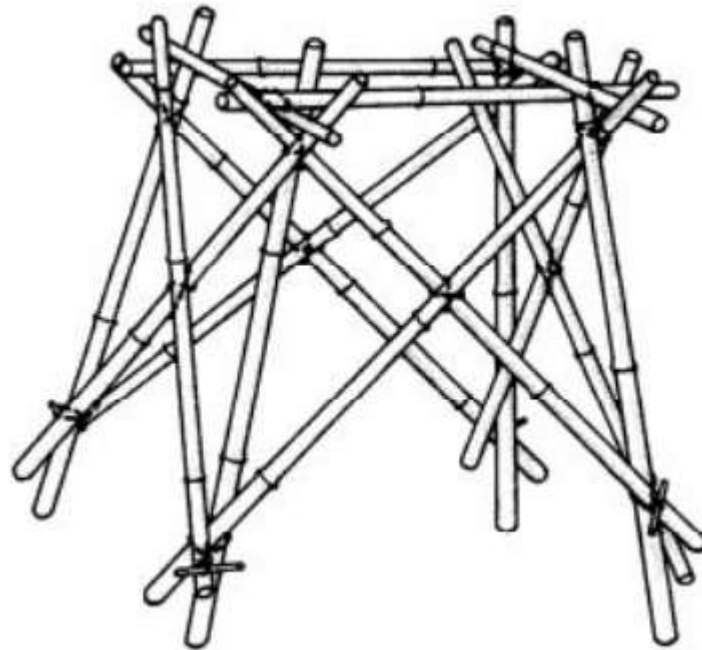


Figura 5.34.- Esquema da estrutura de uma ponte Pylon [10]

### 5.4. LIGAÇÕES

A utilização do bambu em obras de arquitetura e engenharia de nível superior, não é rara, multiplicando-se os projetos que, através do emprego deste material, procuram uma maior sofisticação e beleza.

Contudo, a relação do bambu com os outros materiais, em particular com o betão, não pode ser realizada de forma descuidada sob o risco de diminuir a segurança da estrutura. Nesse sentido, o presente capítulo incide sobre as ligações entre peças de bambu e com outros materiais de construção, e respetivas metodologias [4] [7] [11].

#### 5.4.1. REGRAS DE EXECUÇÃO DE LIGAÇÕES

Não existem documentos legislativos oficiais que indiquem as regras a seguir para a execução de conexões em bambu. Contudo, existe um manual publicado em 1998 por Hidalgo [7] de regras básicas a seguir, definidas empiricamente, e que é seguido por uma elevada percentagem dos construtores sul-americanos.

**Regra nº1: Executar ligações junto aos nós** – os nós dos colmos do bambu constituem-se como a zona mais resistente de todo o tronco, dado que contêm um diafragma que infere uma resistência e rigidez adicionais ao colmo. Assim, a ligação deverá ser tão próxima ao nó quanto possível, pelos motivos supracitados e no sentido de prevenir ataques de insetos e fissuração do colmo.

**Regra nº2: Evitar aberturas nos colmos** – Sempre que possível deverá evitar-se a realização de aberturas nas zonas próximas às ligações, e caso seja indispensável a abertura deverá ser tanto menor quanto possível, de forma preferencialmente circular e junto a nós excluídos das ligações. Tais indicações reduzem a ocorrência de pontos altamente tensionados, que induzam um menor índice de segurança local.

**Regra nº3: Seleção e Tratamento apropriados dos Colmos** – a escolha de colmos na sua fase de maturação ideal é primordial no sentido de aumentar a capacidade de carga da estrutura. Bambus devidamente amadurecidos oferecem melhores condições de exequibilidade em contraponto com colmos verdes, que retraem e fissuram durante o ciclo de redução do teor em água. A aplicação dos tratamentos, referidos no capítulo 2, é também relevante para a obtenção da melhor solução final.

**Regra nº4: Encaixe das ligações** – é particularmente relevante garantir o encaixe e fixação apropriados dos conectores no colmo do bambu. Nas zonas de acabamento, ou seja nas pontas do colmo cortado, é aconselhável realizar um corte denominado de boca de peixe (Figura 5.35). Dessa forma o conector ficará mais firme, reduzindo o risco de penetração de água, ataque de insetos, ou a fissuração do colmo. Este tipo de corte permite, também, que a tensão seja distribuída de forma equilibrada pela ligação.

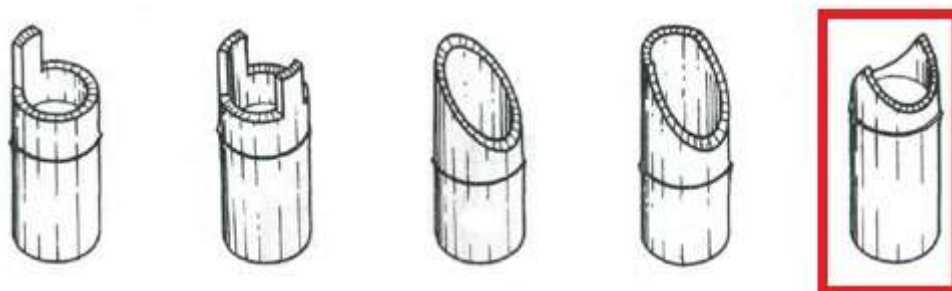


Figura 5.35 - Cortes de ligações do Bambu. O corte boca de peixe está realçado [7]

**Regra nº5: Reforço dos colmos** – as ligações devem ser concebidas de modo a que não haja transferência dos esforços tangenciais máximos para os colmos adjacentes. Dado que o bambu apresenta uma estrutura cilíndrica oca, não é particularmente resistente a esforços tangenciais e, caso essa transmissão ocorra, deverá ser realizado um reforço do colmo através de mangas metálicas ou preenchimentos do interior com cilindros de madeira, por forma a evitar o esmagamento.

## 5.4.2. TIPOS DE LIGAÇÕES

### a) Ligações Tradicionais

A maioria das ligações tradicionais empregues no manuseamento do bambu surgem de conhecimentos obtidos e desenvolvidos empiricamente, que transitaram geracionalmente até à atualidade. Como tal, a base científica laboratorial que sustenta estas técnicas é, na maioria dos casos, inexistente. (Figura 5.36)

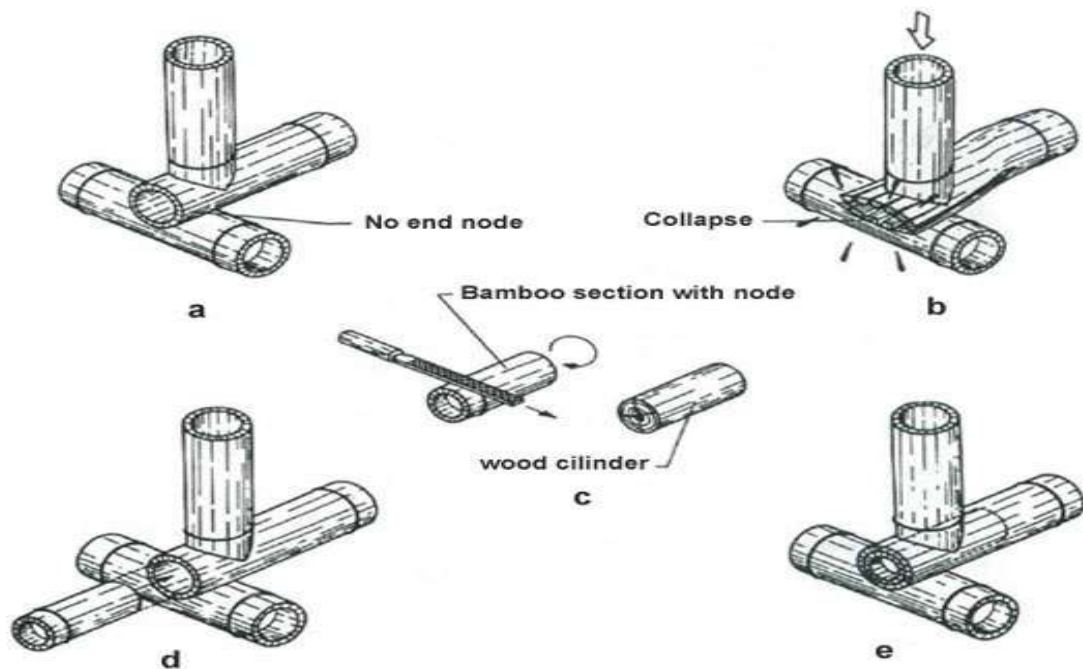


Figura 5.36 – Reforço dos colmos [4]

### b) Amarrações

As amarrações entre dois segmentos de bambu, constituem o tipo de ligação mais antiga que remonta aos primórdios da construção. A fricção entre o ligador, como uma corda, e as peças é suficiente para providenciar uma união satisfatória, tornando esta uma das ligações mais comuns em todo o Mundo.



Figura 5.37 - Andaime em Bambu com Ligações em fio de aço [3]

Esta técnica é utilizada, de forma corrente, na construção chinesa na concepção de andaimes que podem atingir os 30 andares de altura. O ligador empregue neste elemento é o fio de aço.

Existe alguma diversidade nos tipos de ligadores utilizados, podendo estes ser de corda, fio de aço, tiras de velcro ou bandas de plástico. O material utilizado deve ser escolhido de acordo com o objetivo da utilização, sendo o fio de aço indicado para elementos e construções que necessitem de maior rigidez na conexão.

Segundo um estudo de Arce-Villalobos [1], orientado para os materiais utilizados comumente nas amarrações, uma corda feita através do entrelaçamento de fibras do bambu, com um diâmetro final de 60 milímetros, apresenta capacidade para suportar até 14 toneladas. Refira-se que na concepção deste tipo de cordas, é preferível a utilização de fibras saturadas verdes, pois a respetiva secagem induzirá encurtamentos que tornam a corda mais resistente [1].

Este tipo de ligação já provou ser bastante eficaz, contudo, a sua utilização vai cair, de forma natural, em desuso por se tratar de uma técnica não padronizada, não regulamentada e cuja qualidade depende, primordialmente, da habilidade e capacidade do executante, ou seja do trabalhador. A agravar está o facto de haver pouca resistência ao arrancamento em juntas amarradas e estas serem suscetíveis de perder tensão ao longo do tempo.

A tensão induzida inicialmente poderá ser aumentada através da perfuração dos colmos e da realização das amarrações através desses furos. Esta solução reduz a resistência dos colmos de bambu, mas aumenta a eficácia da amarração.

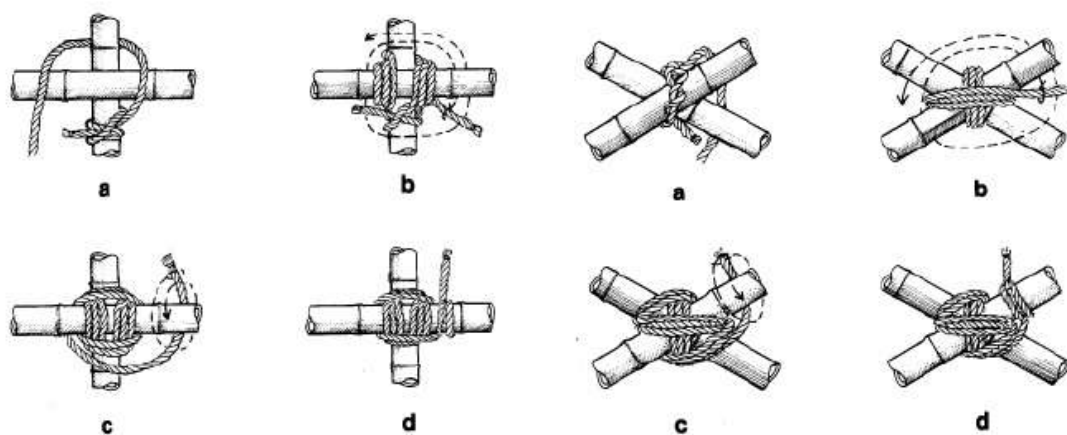


Figura 5.38 – Tipos de amarração [4]

### c) Juntas de Topo

A necessidade de conexão entre dois segmentos de bambu perpendiculares entre si, é a mais frequente na construção em bambu. Perante esse facto, Widyowijatnoko [4] desenvolveu um estudo direcionado para esse tipo de ligações, recorrendo apenas a materiais naturais. Esse estudo resume-se apenas à catalogação dos vários tipos de juntas de topo existentes, não havendo uma avaliação do comportamento das mesmas sob esforços de tensão.

Perante esse cenário, a perpendicularidade de dois segmentos de bambu, a solução tradicional é o emprego de uma junta de topo, conforme demonstrado na figura 5.39.

Uma junta de topo é formada pela serração e cinzelamento da extremidade do segmento vertical de bambu, para que este encaixe, de forma segura, no segmento horizontal. Esse encaixe permitirá uma transferência apropriada das cargas aplicadas, entre os elementos envolvidos.

Em 1982, Janssen [9] estabeleceu que a resistência à flexão deste tipo de junta ascendia aos 8,0 kN, e a resistência ao corte do segmento superior de 0,98 kN/mm. Estes valores, contudo, estão sujeitos a um grande desvio-padrão dadas as variantes associadas às características dos colmos do bambu e à qualidade variável da execução da junta.

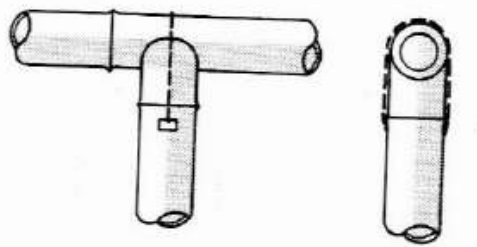


Figura 5.39 - Junta de Topo [4]

#### d) Juntas de União

As juntas de união, podem ser longitudinais ou transversais, e são indispensáveis na construção em bambu quer seja para aumentar o vão através da união de dois segmentos, quer seja para criar um segmento mais forte através da amarração de dois colmos juntos, conforme demonstram as figuras, representativas dos vários tipos de juntas de união correntemente usadas (Figura 5.40.).

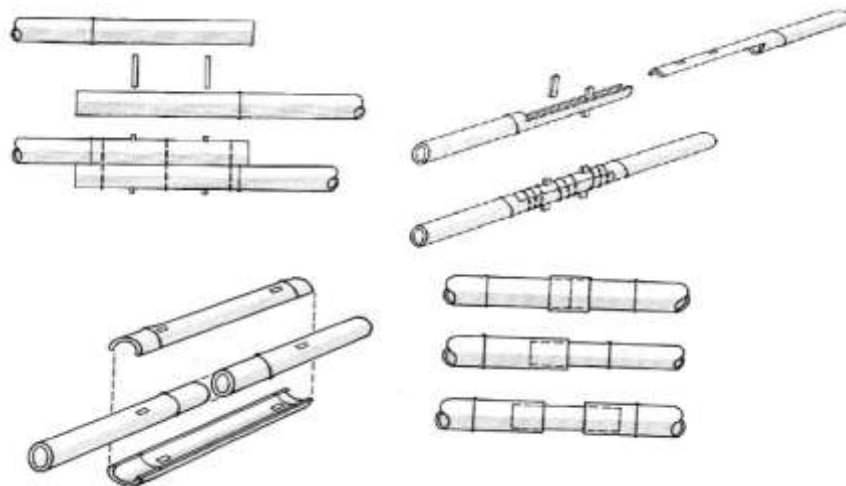


Figura 5.40 – Tipos de Junta de União [4]

### e) Ligações Modernas

As ligações modernas com bambu tendem a recorrer à resistência e capacidade dos outros materiais envolvidos, por forma a compensar as debilidades apresentadas pelo bambu. São utilizadas de forma crescente e, algumas delas, baseadas em ensaios laboratoriais com parâmetros rigorosos pré-estabelecidos, que permitem a replicação posterior.

### f) Ligação Interior em Madeira

A ligação interior em madeira consiste na inserção de um cilindro de madeira, conforme demonstrado na figura 5.41, a qual é colada no interior de um dos colmos.

Esta ligação induz uma resistência adicional ao bambu, quando sujeita esforços na direção tangencial, e deverá ter extensão suficiente para permitir a distribuição equilibrada de eventuais concentrações de cargas sobre uma área superior.

O aumento da área interior permite uma maior capacidade resistente ao momento fletor nas juntas.

Um dos problemas deste tipo de junta é o facto de os colmos do bambu raramente apresentarem, no seu estado natural, uma circunferência perfeita e de diâmetro regular ao longo da sua extensão, dificultando assim, a conceção de peças que providenciem um encaixe perfeito.

Para resolver este problema, são realizadas no colmo duas ranhuras, por forma a permitir uma certa flexibilidade na articulação, o que deverá ser feito enquanto o colmo ainda é verde e flexível. A parte interior do colmo deverá então ser limpa e lixada, por forma a obter uma superfície regular que permita o deslizamento e encaixe de uma inserção de madeira de medidas pré-estabelecidas e padronizadas. Naturalmente, esta não é uma solução perfeita, mas permite a produção em grande escala deste tipo de ligações, sem ser necessário recorrer a grandes meios tecnológicos.

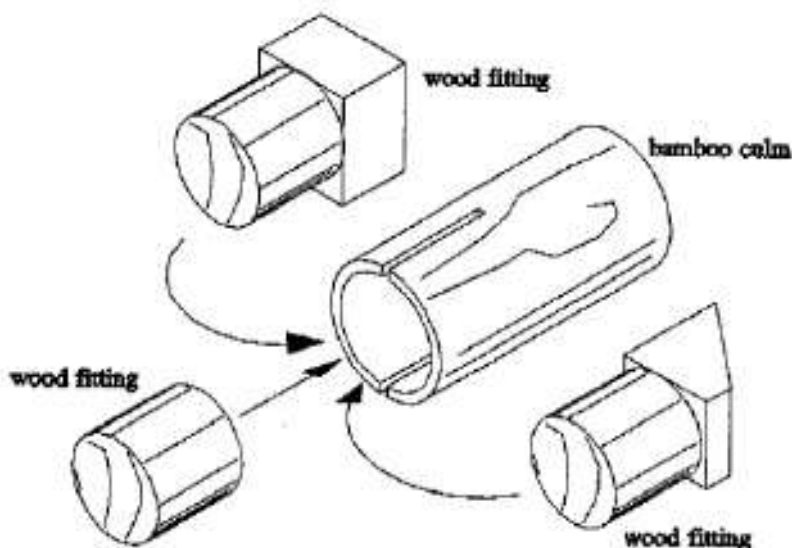


Figura 5.41 - Ligação Interior em Madeira [4]

Por outro lado, apresenta várias vantagens e uma das maiores da ligação interior em madeira é a sua adaptabilidade, dado que é aplicável a uma vasta gama de tipos de articulação devido ao grande rol de

cortes executáveis na extremidade que fica de fora do colmo. Isto elimina a necessidade de um corte angular complexo dos colmos e torna a construção mais simples, dispensando a necessidade de mão-de-obra especialmente qualificada. O seu reduzido custo, comparativamente ao de outras ligações modernas, é também um dos pontos a seu favor. Outra das grandes vantagens é o facto de funcionar como obstrução à entrada de insetos ou humidade relativa do ar, fatores instigadores de danos no bambu.

O desenvolvimento desta ligação focou-se, predominantemente, no design e execução, sendo ainda necessárias evoluções no capítulo da resistência mecânica.

#### g) Pino Conector

O pino conector de corte Herbert é um dos tipos de ligação moderna entre segmentos de bambu e outros materiais. Pequenas faixas metálicas são ligadas aos colmos e interligadas através dos pinos metálicos conectores. Esta solução permite a união de múltiplos colmos num único ponto, independentemente do ângulo de incidência, apesar de funcionar melhor quando todos os colmos se encontram no mesmo plano direcional, pois a sobreposição de vários colmos pode resultar em conexões muito volumosas que induzem outro tipo de anomalias.

A sua principal desvantagem é o facto de transportar os momentos para as extremidades que necessitarão de, em certas ocasiões, ser reforçadas para evitar a fissuração do bambu.

#### h) Juntas Expansíveis

As juntas expansíveis são consideradas por muitos, como o futuro dos conectores para o bambu. São utilizadas, de forma geral, para encaixar internamente nos colmos, e têm a vantagem de se ajustarem a uma vasta gama de diâmetros.

Do ponto de vista teórico, esta solução é viável e assenta em fundamentos e princípios que comprovam a sua exequibilidade.

Da perspetiva prática, a produção de uma junta expansível simples e eficaz, que encaixasse interiormente, num vasto rol de diâmetros de bambu com ângulos de incidência diversos, é apenas possível através do investimento em meios tecnológicos avançados. Tal investimento, perante alternativas mais económicas existentes, não é apetecível.

Convém apenas realçar que, uma outra desvantagem deste tipo de solução é a fissuração e abertura do bambu perante eventuais pressões excessivas das juntas.

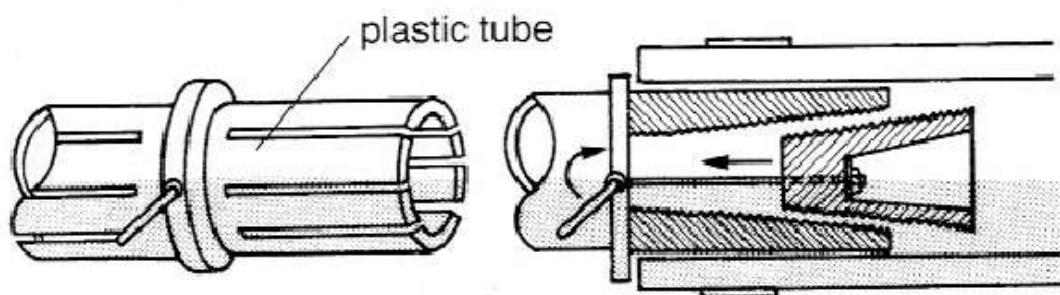


Figura 5.42 – Junta expansível de plástico [4]

### i) Junta de Inserção em Aço

A utilização do aço como material de conexão dos colmos do bambu foi, primeiramente, sugerida por Duff em 1941, sob as indicações do exposto na imagem 5.44. O design deste tipo de junta permite a conexão de múltiplos colmos num único ponto sem prejuízo do bom funcionamento do nó de ligação, providenciando simultaneamente uma proteção da zona inferior do bambu.

É usada argamassa para preencher o vazio entre a parede do colmo e o tubo de aço inoxidável, o qual é impregnado com adesivo para uma melhor ligação com a argamassa.

A esfera nodal constitui um indicador da larga gama de colmos de bambu conectáveis e de ângulos de incidência. Este formato torna a presente ligação uma solução adequada para topos de pilares onde as conexões podem revelar-se substancialmente difíceis.

Apesar da longínqua data de invenção, esta solução é, correntemente, uma das favoritas dos arquitetos pela sua aparência moderna e facilidade de emprego.

Conforme é observável pela figura 5.43, o aço atualmente é também utilizado como proteção da extremidade do colmo por forma a evitar a entrada de insetos, da humidade relativa do ar, e a fissuração do colmo, proporcionando também um aspeto mais agradável, apesar de induzir maiores cargas, associadas ao maior peso próprio, na estrutura.



Figura 5.43 – Junta de Aço moderna [4]

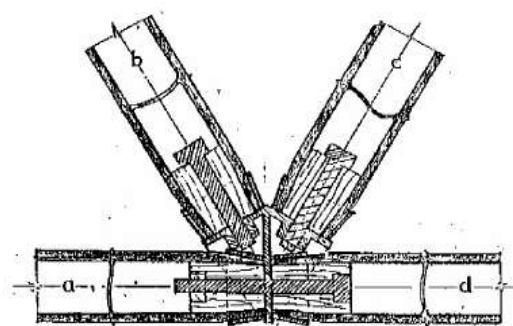


Figura 5.44 – Esquema da Primeira Junta de inserção em Aço [4]

### j) Ligações Tubulares Pré-Moldadas

As ligações tubulares pré-moldadas podem ser executadas com uma vasta gama de materiais, servindo, fundamentalmente, de base para a execução da conexão. Os colmos são encaixados neste conector de forma interior ou exterior, ou seja, o colmo pode sobrepor-se ao tubo, tal como pode ocorrer o oposto.

Se o tubo for encaixado internamente, a extremidade do colmo do bambu deverá ser cortada no sentido das fibras, por forma a permitir um aumento do diâmetro do colmo até que se ajuste ao diâmetro do tubo, considerando a variação natural do diâmetro dos colmos. Uma abraçadeira metálica é usada para segurar firmemente os colmos, até que eles atinjam as dimensões desejadas.

A adição desta abraçadeira permitirá que o bambu não fissure e se divida em dois. É por isso vantajoso utilizar bambus verdes dado que estes, até à secagem total, apresentam variações de diâmetro consideráveis e ajustar-se-ão melhor aos tubos deste tipo de ligação, proporcionando assim um incremento de resistência às tensões de tração.

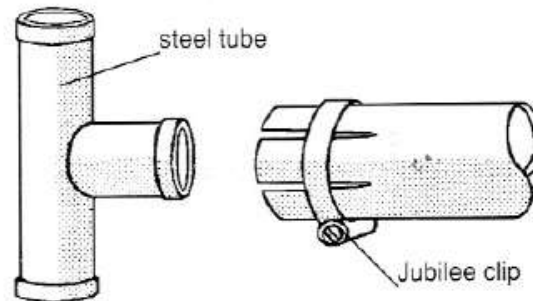


Figura 5.45 - Ligação Tubular pré-moldada [4]

### 1) Talas de União

As talas de união, habitualmente realizadas em madeira e fixadas com parafusos, visualmente agradáveis, são ligadas à parte interior dos colmos conforme é visível na figura 5.46, chegando a servir de conetor entre vários colmos.

Esta técnica é de fácil execução e produção em massa dado que as talas podem ser usadas em diâmetros e espessuras diferentes. A preparação exige a realização de tarefas de preparação de perfuração, corte e posterior colagem, as quais poderão reduzir as características de resistência mecânica dos colmos. Tais tarefas não requerem ferramentas elaboradas, assemelhando-se nesse aspeto às ligações interiores em madeira que apenas necessitam de ferramentas pequenas e de uso quotidiano.

Em contrapartida, as extremidades dos colmos permanecem abertas e expostas aos elementos naturais, fatores que poderão acelerar a degradação do colmo.

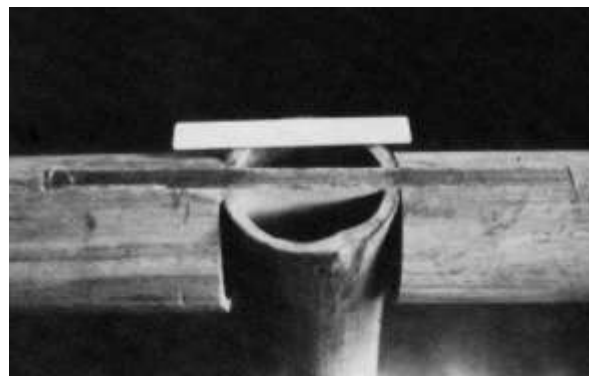


Figura 5.46. – Tala de união em madeira [4]

## 5.5. NORMAS E REGULAMENTOS

A aplicação de uma norma e/ou regulamento, pressupõe respeitar as diretrizes da mesma na execução de uma tarefa abrangida pelo seu âmbito, por forma a obter resultados definidos como aceitáveis. A correta aplicação dessas diretrizes permite a utilização e comercialização de forma mais eficaz e harmoniosa, dado que os intervenientes nos processos aferem facilmente a garantia de qualidade do produto.

Contudo, as normas variam mediante a localização no globo, com uma crescente convergência com as normas ISO. No caso específico do bambu, a norma ISO referente, é mais abrangente se compararmos com as normas nacionais colombianas ou peruanas. Tal afirmação sustenta-se no facto de na norma ISO serem estudadas e catalogadas cerca de 16 espécies de bambu, enquanto nas normas sul-americanas existe um foco exacerbado na espécie “Guadua”, a partir da qual a norma estipula que se façam analogias e adaptações. Veja-se com algum detalhe, o campo de incidência das diferentes normas.

### 5.5.1. NORMAS ISO

Em 2004 foram lançadas as primeiras normas ISO direcionadas para o bambu. A ISO 22156:2004, denominada de “Bamboo Structural Design”, tem campo de aplicação nas estruturas concebidas em bambu, seja lamelado colado, em tronco, ou em painéis unidos com juntas aderentes. Esta norma baseia-se na verificação de resistência ao estado limite último e no desempenho do bambu no exercício da função, focando-se na evolução das características mecânicas e na durabilidade da estrutura. A ISO 22157-1:2004, lançada em conjunto com a ISO 22156, especifica os métodos de determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu, nomeadamente o teor em água, o peso volúmico, a retração, e esforços aplicados. A ISO 22157-2 está associada à ISO 22157-1, e consiste num manual de procedimentos em laboratório. Estas normas oficiais são a sequência das pré-normas lançadas em 2001.

No seu âmbito, as normas ISO supracitadas, permitem a manutenção das técnicas tradicionais empregues na construção em bambu, caso estas tenham provado a sua eficácia no confronto com cataclismos naturais, como sismos, furacões ou tufões, ou obtido melhores resultados empíricos, de acordo com as especificações normativas.

### 5.5.2. NORMAS CHINESAS

A informação regulamentar chinesa, traduzida para linguagem universal é escassa, mas segundo foi apurado, o regulamento de proteção florestal nacional chinês estabelece 5 categorias de classificação das florestas, estando o bambu incluído na segunda categoria, a das florestas lenhosas.

Essa classificação induz uma proibição da alteração da ocupação terrena para não-florestal excetuando-se os casos de potencial exploração mineira que se sobrepõem à proteção florestal. O regulamento estabelece ainda as condições que permitem o corte e colheita selecionados de forma a impedir a deflorestação da zona.

### 5.5.3. NORMAS SUL-AMERICANAS

Os países da América Latina, nomeadamente o Peru e a Colômbia, dado o seu uso recorrente do bambu, têm regulamentos e normas próprios. Contudo a especificidade dos mesmos perante a vasta gama de espécies de bambu, fica aquém das normas ISO. Apesar da convergência crescente entre ambas, as normas Peruana e Colombiana focam-se na espécie “Guadua”, originária da floresta homónima, e tendo por base essa espécie, fazem as analogias e adaptações necessárias e convenientes. Fundamentalmente, estas normas Sul-Americanas, além de citarem recorrentemente a norma ISO, são de base e identidade muito semelhantes.

## 5.6. BAMBU CERTIFICADO

### 5.6.1. CERTIFICADO FSC

O certificado FSC é indicador da qualidade da colheita do bambu, não podendo ser indicador da qualidade do material em geral. Este certificado estabelece que a matéria-prima certificada, obedeceu a um conjunto de regras pré-estabelecidas que permitem manter, no local da colheita, a biodiversidade, a produtividade natural e os processos ecológicos. Atualmente é empregue, ainda que em pequena escala, em alguns países da América do Sul e no Sudoeste Asiático, com destaque para a Colômbia e para o Vietname.

### 5.6.2. MARCAÇÃO CE

A marcação CE indica a conformidade obrigatória de um produto para que este possa ser transacionado dentro da Comunidade Económica Europeia. Esta marcação é colocada pelo fabricante, o qual assume a responsabilidade pelo cumprimento, do produto, das diretrizes regulamentares vigentes da União Europeia, ao nível da segurança, saúde, ambiente, e proteção do consumidor. Para o caso do bambu esta marcação não é obrigatória, apesar de vários componentes entre várias empresas, como alguns revestimentos americanos, apresentarem esta certificação na sua descrição.

### 5.6.3. OUTRAS CERTIFICAÇÕES

Existem outras certificações nacionais que garantem a qualidade dos produtos, na sua maioria, congéneres. A gama dessas certificações é relativamente vasta, abrangendo desde o cultivo até ao processamento. Por exemplo, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, a USDA, certifica a qualidade da plantação e colheita do bambu de alguns produtores de bambu americanos. O mesmo sucede para a OCIA, que certifica o processo de cultivo (Figuras 5.47 e 5.48).



Figura 5.47. - Marcação USDA



Figura 5.48. - Marcação OCIA



## 6

**ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM  
BETÃO ARMADO COM BAMBU****6.1. INTRODUÇÃO**

O reforço em bambu é uma componente que é abordada, fundamentalmente, do ponto de vista experimental, no sentido de apurar eventuais alternativas aos materiais correntes da construção tradicional. Naturalmente, este tipo de estudos são realizados nos países sul-americanos ou do sudeste asiático, locais de maior abundância da matéria-prima.

O presente capítulo aborda o entrosamento do bambu nos elementos estruturais fundamentais, em substituição do aço da armadura e da madeira das cofragens. Pilares, vigas e lajes são os elementos focados, e as características desta ligação com o bambu são comuns.

Assim, apresentam-se no ponto seguinte as vantagens e desvantagens da intromissão do bambu na execução dos elementos construtivos supracitados.

**6.2. PREPARAÇÃO DAS “ARMADURAS” EM BAMBU**

As armaduras em bambu usadas no reforço de peças de betão armado são constituídas por “vergalhão” geralmente quadrado, resultante do corte longitudinal de colmos de bambus de grande altura, diâmetro elevado e com espessura de parede superior 30 milímetros.

As armaduras têm assim cerca de 30 x 30 de secção transversal e comprimentos variáveis entre os 3 e os 4 metros. Dado o que foi abordado no capítulo 2 de caracterização da planta, e o comprimento dos varões das armaduras, estes últimos incluem o troço dos nós na sua constituição. Dada a fraca aderência da ligação entre o bambu e o betão, os varões são impregnados de um aderente que incrementa a força dessa ligação. A figura 6.1. esquematiza o fabrico dos varões em bambu.

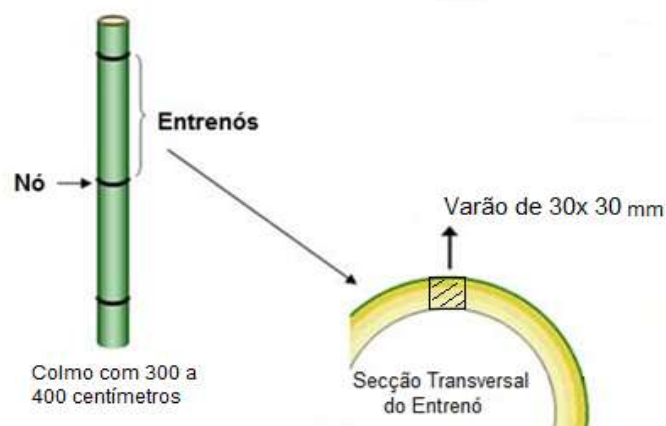


Figura 6.1. – Esquema de produção de varões de bambu

### 6.3. PILARES DE BETÃO ARMADO COM BAMBU

A execução de pilares de betão reforçado com bambu insere-se numa dimensão diferente das vigas e das lajes. Este elemento construtivo, habitualmente feito numa forma quadrada, armado com aço e com cofragem tradicional de madeira ou metal, nesta vertente apenas aglutina no seu processo de conceção dois materiais: o betão e o bambu. Tanto a cofragem como a armadura, com segmentos de bambu de 30 milímetros de diâmetro, são realizadas em bambu.

Realce-se que, para uma maior proximidade com as soluções correntemente utilizada, estes pilares são realizados de forma quadrada, apesar de o bambu apresentar maior harmonia para formas cilíndricas podendo dessa forma, a cofragem tornar-se um constituinte permanente do pilar devido ao seu aspeto natural agradável, e às poupanças inerentes aos trabalhos de acabamento do betão que são assim dispensados, conforme apresentado na figura 6.2.

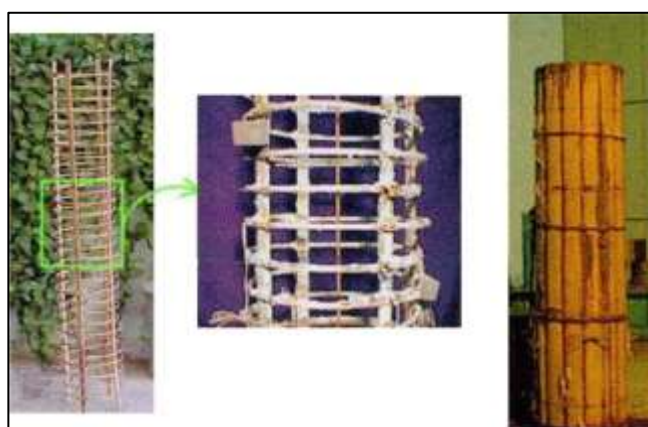


Figura 6.2. – Pilar Cilíndrico armado e cofrado em bambu [30]

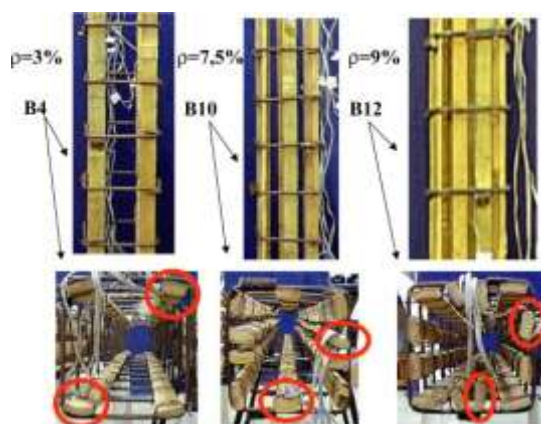


Figura 6.3. – Provetes de Ensaio [30]

Nessas diretrizes foram realizadas atividades experimentais para verificar a eficácia deste tipo de solução.

A cofragem é realizada com várias lâminas de bambu, de medidas variáveis de pilar para pilar, mas uniformes no mesmo elemento, cujas dimensões são, por norma, de 30x80 milímetros e 15 milímetros de espessura, sobrepondo-se longitudinalmente ao longo do pilar. O espaçamento dado do reforço horizontal é, habitualmente, de 40 centímetros, num pilar de altura máxima de 200 centímetros.

O reforço em bambu consiste num conjunto de tiras de bambu provenientes das paredes de colmos de diâmetros grandes, devidamente tratados com uma resina de fixação, e que se apresenta como uma solução tão eficaz quanto o aço, para a construção habitacional unifamiliar.

Para a realização dos ensaios, foram realizados vários provetes com diferentes taxas de armadura, conforme é visível na figura 6.3., e nas tiras de bambu da armadura foram colocados extensómetros elétricos. Os provetes tiveram um tempo de cura de 28 dias, conforme os regulamentos especificam.

Os ensaios realizados, visíveis na figura 6.4., revelaram que um pilar armado com bambu, com uma taxa de armadura de 3,0 % revelou-se tão eficaz quanto um pilar armado com aço com a mesma taxa de armadura.

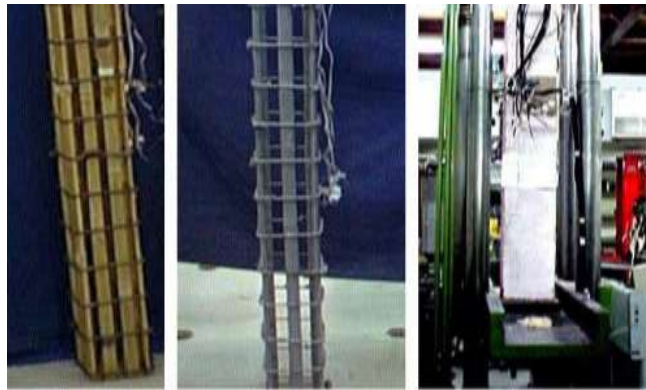


Figura 6.4. – Ensaio dos Pilares armados com bambu [30]

#### 6.4. VIGAS DE BETÃO ARMADO COM BAMBU

A concepção de uma viga de betão armado com bambu em muito se assemelha à de uma armada com aço. Nesse sentido, a viga armada com aço servirá de base comparativa para a análise dos resultados obtidos e dos métodos utilizados de um ensaio de uma viga armada com bambu, que se passa a explicitar.

Para a viga em estudo, armada com bambu e simplesmente apoiada, são utilizados agregados leves, de dimensões máximas de 20 milímetros. Naturalmente, os agregados utilizados variam mediante a localização global da execução, e respetiva abundância.

A armadura em bambu foi devidamente preparada, através da raspagem e impermeabilização das tiras de 30 milímetros de diâmetro, no sentido de obter uma aderência superior no contacto com o betão e a aumentar a durabilidade da mesma. Essas tiras foram posteriormente armadas recorrendo a arame de 1,5 milímetros com espaçamento de 100 milímetros, obtendo-se assim uma taxa de armadura de aproximadamente 5,0 %.

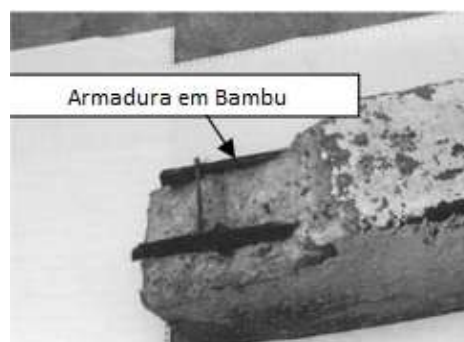


Figura 6.5. - Viga armada com Bambu [30]

A viga de teste (figura 6.5.), de dimensões 340 x 12 x 30 centímetros, com um vão livre de 3,0 metros, foi executada dentro de uma cofragem, na qual o betão foi disposto em camadas de 10 centímetros, com posterior vibração segundo as normas Brasileiras, país onde foi realizado o ensaio.

Os ensaios, realizados após os 28 dias, permitiram aferir que o tratamento dado à armadura de bambu induziu um aumento de 100% na resistência ao momento fletor, e com uma taxa de armadura ideal de 3,0 %, obteve-se um incremento de resistência ao momento fletor de 400 % relativamente a uma viga de betão não-armado.

Contudo, na perspetiva comparativa com uma viga armada com aço, esta diferença é substancialmente superior, pelo que a viga armada em bambu constitui apenas uma solução viável para estruturas ligeiras, cuja conceção se pretende que seja dotada de economia, através da substituição do aço pelo bambu, o que só poderá acontecer em locais onde o bambu prolifere.

## 6.5. LAJES DE BETÃO ARMADO COM BAMBU

Um dos métodos testados no reforço de lajes de betão, recorrendo ao bambu é a colocação, na superfície inferior da laje, de uma placa formada por meias-seções de canas de bambu, ficando a parte côncava das canas preenchida pelo betão.

A metodologia de conceção distingue-se das vigas armadas com bambu, dado que neste caso o bambu funciona como cofragem irrecuperável que posteriormente atua como reforço da laje aos esforços de tração, não havendo desta forma, uma armadura interna.

Na parte côncava do bambu, pela sua fraca aderência ao betão, é aplicado um adesivo estrutural à base de resina, de baixa viscosidade.

Estes pressupostos foram testados numa laje de dimensões máximas de 80 x 14 x 316 centímetros, com um vão livre de 300 centímetros.



Figura 6.6. – Cofragem em Bambu [30]

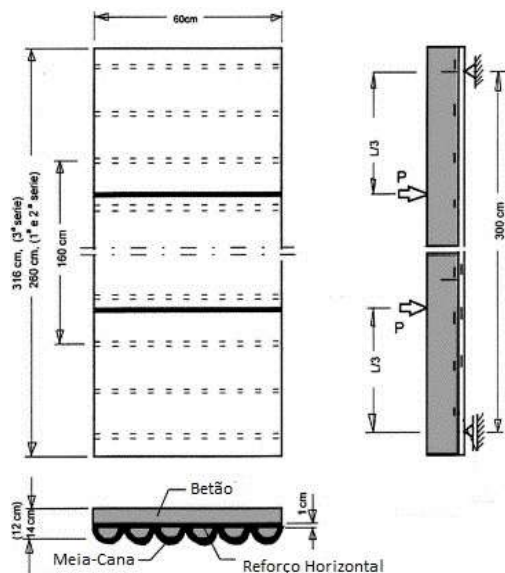


Figura 6.7. - Esquema de Reforço da Laje [30]

Os ensaios realizados, usando métodos analíticos convencionais, revelaram que este tipo de reforço não é suficiente para suprir as especificações regulamentares. Nesse sentido, foi estudada a capacidade da resistência ao corte nas secções inteiras de bambu comparativamente, com as meias-seções.

Para a meia-seção do bambu apurou-se uma resistência de 10,9 MPa, com um desvio padrão de 2,6 MPa, valores insuficientes no impedimento da rotura frágil do betão.

Foi então apurado que a placa, tem a especificação de necessitar de um reforço horizontal regular, que una todas as meias-seções, realizada em bambu ou aço. A presença deste reforço horizontal duplica a resistência ao corte, conforme se pode observar na figura.

Este tipo de solução, perante as especificações indicadas, tornou-se então viável na conceção de habitações unifamiliares, sendo atualmente utilizado no mercado brasileiro, ainda que em reduzida escala. A tendência de utilização deste tipo de soluções é crescente, dada a economia associada.

Contudo, presentemente é procurada uma forma de incrementar a aderência entre o bambu e o betão, a qual induzirá melhorias significativas nas propriedades mecânicas da solução.



Figura 6.8. – Antes e Depois da Betonagem [30]

## 6.6.VANTAGENS E DESVANTAGENS

As vantagens e desvantagens da aplicação do bambu na substituição dos materiais tradicionais estão diretamente relacionadas com as características naturais da planta e com o subdesenvolvimento da indústria do fabrico e tratamento desta espécie.

### Vantagens:

- ✓ Atinge resistências máximas às tensões de tração de, aproximadamente,  $370 \text{ N/mm}^2$ , valor aproximado ao de um aço S400;
- ✓ Peso volúmico reduzido (cerca de 1/6 do peso volúmico do aço);
- ✓ Reduzido ciclo de renovação da matéria-prima;
- ✓ Matéria-prima barata;
- ✓ Manuseamento simples;
- ✓ Esteticamente apazível.

Contudo, são também vários os fatores que tornam esta solução substancialmente menos apetecível:

**Desvantagens:**

- × Nos nós a resistência média é menor que o valor mínimo do resto do colmo;
- × Existe uma vasta gama de variantes influentes nas características do bambu: a espécie, a idade, o teor em água, a extensão, a zona do colmo, ou o diâmetro;
- × A proliferação da planta é circunscrita a climas tropicais e subtropicais;
- × A industrialização do fabrico do aço, tornando-o cerca de 15% mais barato;
- × Fraca resistência ao fogo;
- × Alta predisposição de absorção da humidade relativa ambiente;
- × Fraca aderência ao betão;
- × Suscetibilidade a ataques de fungos e insetos;
- × Necessidade de realizar tratamentos para prevenir todas as fraquezas supracitadas.

# 7

## CONCLUSÕES

A bibliografia nacional portuguesa sobre o bambu e as suas aplicações é escassa, cingindo-se a um punhado de teses universitárias e alguns livros direcionados para a jardinagem. Nesse sentido, é expectável que a presente dissertação constitua uma mais-valia na informação sobre as potencialidades da aplicação do bambu na indústria da construção.

A primeira grande conclusão que se pode retirar é o facto de o bambu, no panorama atual mundial, apresentar-se como um elemento viável para a construção, mas apenas nos países onde cresce e se desenvolve naturalmente. Do ponto de vista estrutural, para estruturas de pequena e média envergadura, apresenta-se como uma alternativa viável aos outros materiais de construções pelos seus valores característicos de resistência mecânica e pelo seu reduzido peso próprio. Da perspetiva económica, é uma solução apetecível nos países onde se desenvolve pelos reduzidos custos inerentes à sua obtenção e processamento. Contudo, para os países onde não prolifera, os custos associados à importação anulariam as vantagens do material relativamente aos materiais de construção usados correntemente.

A empregabilidade do bambu pode ser comparada com a da madeira, mas é necessário ressaltar as devidas diferenças. O bambu é uma espécie cujo ciclo de regeneração é muito curto, ao contrário da madeira, e os seus custos de produção, colheita e tratamento são, também, bastante reduzidos. Estes dois parâmetros principais permitem afirmar que o bambu é uma matéria-prima com um elevado índice de sustentabilidade. Por outro lado a madeira, mediante a espécie, desenvolve-se por todo o mundo. Da perspetiva mecânica, o bambu provou que, apesar do reduzido peso próprio, apresenta desempenhos particularmente satisfatórios. Contudo esses desempenhos variam consoante a espécie, a idade e o tratamento. Das 1500 espécies conhecidas, nem todas são adequadas para a construção pelo que é necessária a realização de uma seleção cuidada.

Conforme se referiu, a idade do colmo influencia nas suas propriedades mecânicas pelo que é fundamental saber com precisão a altura da colheita, de forma a prevenir que o colmo seja colhido verde ou maturado excessivamente. Um colmo colhido na altura ideal com posterior secagem, apresentará os valores máximos possíveis de resistência mecânica. Contudo, é também indispensável a realização de tratamentos adequados ao bambu pois, como material orgânico, o bambu está sujeito à absorção de água, e ao ataque de fungos ou pragas.

Assim, a segunda principal conclusão que se pode retirar é que para tornar o colmo do bambu num material de construção viável, é necessário colhê-lo na altura ideal, submetê-lo a secagem natural ou artificial e tratá-lo devidamente contra as ameaças ambientais.

Na construção, atualmente já existem componentes de bambu produzidos através do mesmo método dos de madeira. Esses componentes em bambu, em particular os painéis de contraplacado e de aglomerado, provaram ser mecanicamente mais vantajosos. As coberturas realizadas com esses painéis de bambu apresentam-se como uma alternativa mais econômica e eficiente que as soluções de zinco e ferro. Pode-se concluir que também o bambu processado é mais eficaz do que os outros materiais correntemente aplicados. Refira-se, apenas, que existem 3 normas ISO que estabelecem alguns princípios básicos da utilização de componentes de bambu na construção.

Numa vertente vernacular, a construção em bambu é realizada de forma corrente em zonas subdesenvolvidas onde existe abundância desta matéria-prima. As edificações realizadas em bambu servem os propósitos dos habitantes locais, contudo a transposição desses métodos construtivos para outros locais está longe de ser um processo fundamentado cientificamente. Não existe legislação ou regulamentação que estabeleça regras ou diretrizes para o desenvolvimento destas construções vernaculares com os índices de segurança mínimos. Assim, para projetar um destes tipos de edificação, recomenda-se a utilização dos valores obtidos laboratorialmente para as propriedades mecânicas intrínsecas dos colmos, e a utilização dos manuais de construção, como os de Arce-Villalobos [1] ou de Jayanetti [10], que foram desenvolvidos com base em conhecimentos obtidos empiricamente e transmitidos de geração em geração.

Desta forma, a terceira principal conclusão a retirar é que o bambu sob a forma de componentes já iniciou o seu processo de integração no mercado de construção ocidental. Porém, a execução de estruturas vernaculares, por não terem sustentação matemática ou científica, dificilmente serão reconhecidas como viáveis na indústria da construção europeia. Se existisse tal sustentação, a conceção de projetos de construções em bambu seria possível, e conseqüentemente a possibilidade de se obter uma execução segura e eficaz.

Resta por fim referir a abordagem experimental do betão armado com bambu, tratada no capítulo 6. Os resultados obtidos são razoáveis e satisfatórios se for considerada uma inserção num ambiente de construção simples. Além dessa restrição, existe também a questão abordada no segundo parágrafo deste capítulo. A substituição de uma armadura em aço, cuja indústria se encontra bastante desenvolvida e com preços bastante reduzidos, por uma armadura em bambu, apenas interessa nos países onde o bambu cresce naturalmente, pelo que esta é uma solução que, atualmente, não tem interesse na perspectiva econômica, exceto nos países com bambu abundante.

Resumindo, o bambu no panorama atual, dificilmente se tornará um material de construção de utilização corrente na Europa, apesar de essa potencialidade ser elevada na América do Sul e no Sudeste Asiático.

## Referência Bibliográficas

- [1] Arce-Villalobos, Oscar Antonio - Fundamentals of the design of bamboo structures. Technische Universiteit Eindhoven, 1993
- [2] Liese, Walter - Anatomy and properties of bamboo. 1985
- [3] Chan, K F Chung and S L - Design of Bamboo Scaffolds. International Network for Bamboo and Rattan, 2003
- [4] Widjowijatnoko, Andry – Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction. Faculty of Architecture of the RWTH Aachen University, 2012 em <http://jubilee101.com/subscription/pdf/Bamboo-Construction/Traditional-and-Innovative-Joints-in-Bamboo-Construction---57pages.pdf> (Data da última consulta: 18/12/2013)
- [5] Liu, S. C., Y. A. Zun, T. S. Yeh, and C. G. Kuo. Studies on the habitats and growth of major bamboo stands in Taiwan (II) Phyllostachys pubescens. Taiwan Forestry Experiment Institution Report No. 243, Taipei, 1974
- [6] Caeiro, João Gabriel Boto de Matos – Construção em Bambu. Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade de Arquitetura, 2010. Em <http://berootstudio.files.wordpress.com/2013/08/joc3a3o-caeiro-construc3a7c3a3o-em-bambu.pdf> (Data da última consulta: 10/12/2013)
- [7] Lopez, Oscar Hidalgo – Manual de Construcción com Bambú. Estudios Técnicos Colombianos Ltda.- Editores. Em <http://www.basta.jabagalea.fr/tutorielbambou/manual-de-construccion-con-bambu-o.h.lopez.pdf> (Data da última consulta: 19/12/2013)
- [8] Davies, Christopher John – Bamboo Connections. University of Bath, 2009. Em <http://pt.scribd.com/doc/132409345/Bamboo-Connections> (Data da última consulta: 14/11/2013)
- [9] Janssen, J.J.A. - Bamboo in building structures. Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven, 1982. Em <http://repository.tue.nl/11834> (Data da última consulta: 10/12/2013)
- [10] Jayanetti, D.L., Follet, J.R. - Bamboo in Construction: an Introduction. INBAR Publications, 1988. Em <http://www.inbar.int/publications/?did=93> (Data da última consulta: 02/01/2014)
- [11] Janssen, J.J.A. Building with bamboo, a handbook. Segunda Edição. Intermediate Technology Publications, 103/1 05 Southampton Row, Londres, Reino Unido, 1995.
- [12] Castilla, Enrique Roberto Álvares – Comportamiento Mecánico de las Conexiones en los Elementos de Bambú para Estructuras Ligeras. El Caso de las Especies del Trópico de Veracruz (Tese de Doutoramento). Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Arquitectura. 2012
- [13] Zhang, Qisheng, Jiang Shenxue, and Tang Yongyu. Industrial utilization on bamboo. Colour Max Publishers Limited. 2001
- [14] Giordano, C. V., Sánchez, R. A. and Austin, A. T. (2009), Gregarious bamboo flowering opens a window of opportunity for regeneration in a temperate forest of Patagonia. New Phytologist, 2008

- [15] Numata, Makoto, Isao Ikusima e Nobunori Ohga. Ecological Aspects of Bamboo Flowering. Ecological Studies of Bamboo Forest in Japan, XIII. Botanical Magazine of Tokyo n°87: 271~284. Laboratory of Ecology, Faculty of Science, Chiba University, 1974. Em <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02489558#page-1> (Data da última consulta: 14/10/2013)
- [16] Marchesini, V. A., Sala, O. E. and Austin, A. T. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 20: 424–432, 2009.
- [17] L. Christanty, D. Mailly, J.P. Kimmins, “Without bamboo, the land dies”: Biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system, *Forest Ecology and Management*, Volume 87, Issues 1–3, 31 October 1996, Pages 75-88, ISSN 0378-1127. Em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112796038340> (Data da última consulta: 20/10/2013)
- [18] Volker Kleinhenz, David J. Midmore, Aspects of bamboo agronomy, *Advances in Agronomy*, Academic Press, 2001, Volume 74, Pages 99-153, ISSN 0065-2113, ISBN 9780120007929. Em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211301740321> (Data da última consulta: 20/10/2013)
- [19] Liese, W. 1997. “The protection of Bamboo against deterioration”. In Jena, P. K. (Ed.), *Proceedings 2nd. Intern. Conf. on non-conventional building materials*, Bhubaneswar, India, 17-19 June 1997. Nat. Res. Dev. Found. Bhubaneswar. pp. 111-117.
- [20] Purushotham, A.; Sudan, S.K.; Vidya Sagar, 1954. “Preservative treatment of green bamboos under low pneumatic pressure treatment”. *Ind. For. Bull.* No. 178, 21 pp
- [21] Liese, W. 1980. “Preservation of bamboos”. In Lessard, G. and Chouinard, A. (Eds.), “*Bamboo Research in Asia*”, IDRC, Singapore, pp. 165-172.
- [22] Kumar, S.; SHUKLA, K.S.; DEV. I.; DOBRIYAL, P.B. 1994. “Bamboo preservation techniques: A review”. INBAR & ICFRE, Techn. Rep. No. 3, New Delhi. 59 pp.
- [23] Xiaobo, Li. Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. (Tese de Mestrado). Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College. 2004. Em [http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04022004-144548/unrestricted/Li\\_thesis.pdf](http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04022004-144548/unrestricted/Li_thesis.pdf) (Data da última consulta 27/12/2013)
- [24] <http://www.guaduabamboo.com>. (Data da última consulta: 10/01/2014)
- [25] <http://www.mirror.co.uk>. (Data da última consulta: 30/12/2013)
- [26] <http://www.tradeindia.com>. (Data da última consulta: 03/01/2014)
- [27] <http://www.jmbamboo.com> (Data da última consulta: 03/01/2014)
- [28] <http://www.bamboohome.co.uk> (Data da última consulta: 20/12/2013)
- [30] Khosrow Ghavami, Bamboo as reinforcement in structural concrete elements, *Cement and Concrete Composites*, Volume 27, Issue 6, July 2005, Pages 637-649, ISSN 0958-9465. Em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946504001337>. (Data da última consulta: 14/12/2013)
- [31] Jianghua X. Multi-Function Values and Classified Management in Bamboo Forest. Presentation on: 2007 Training Course on Bamboo Technology for Developing Countries at China National Bamboo Research Center, Hangzhou, 2007.

- [32] Koga, R. C; Resistência à abrasão de madeira e bambu laminados colados utilizados como elementos de piso. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá-SP, 2001, 117 p.
- [33] Li, X.; Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Dissertation, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana, 2004. 76p.
- [34] Oliveira, A.K.F; Paez,J.B; Caracterização físico–mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos. BRASIL NOCMAT 2006 - Salvador,BA
- [35] Cruz, M. L. S.; Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à flambagem. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2002, 114p
- [36] Chun, Z. F.; The structure of culm of *Phyllostachys* Hangzhou: China National Research Center of Bamboo - CBRC, 2003.