
LUCIANA KAVISKI PEIXOTO

Dissertação

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM BAMBU LAMINADO COLADO:
PROPOSIÇÃO E ENSAIO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE
UMA TRELIÇA PLANA DO TIPO *WARREN***

Brasília/DF
Maio de 2008



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM BAMBU LAMINADO COLADO:
PROPOSIÇÃO E ENSAIO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE
UMA TRELIÇA PLANA DO TIPO *WARREN***

LUCIANA KAVISKI PEIXOTO
Arquiteta e Urbanista

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação – Curso de Mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia.

Orientador: Prof. PhD. Jaime Gonçalves de Almeida



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autora: Luciana Kaviski Peixoto.

Título: Sistema construtivo em bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo *Warren*.

Dissertação defendida e aprovada em 19/05/2008, pela banca examinadora:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Notório Saber José Dafico Alves
Universidade Estadual de Goiás - UEG

Prof. Dr. Khosrow Ghavami
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ

*"Nós não herdamos a Terra de nossos pais. Nós a
emprestamos de nossos filhos".*

Provérbio Indígena

PARA

Hamilton Valério Filho, que sempre ao meu lado,
não me permitiu esmorecer, nem por um segundo.

*“Nosso maior desejo na vida é encontrar alguém
que nos faça fazer o melhor que pudermos”.*

Ralph Waldo Emerson

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, essa Força maior que nos orienta através da fé, sempre apontando o melhor caminho a ser seguido.

Aos meus pais, meus maiores e melhores exemplos de pessoas, Amilcar Moreno Peixoto e Lione Kaviski Peixoto pelo amor e dedicação incondicionais durante toda a minha vida, e, que junto com a minha irmã Maíra Kaviski Peixoto, mesmo à distância, jamais deixaram de participar e de torcer pelo meu sucesso.

Ao meu marido, Hamilton Valério Filho, que com muito amor e companheirismo, tornou o meu desafio, nosso desafio, auxiliando-me de todas as maneiras possíveis na elaboração desse trabalho.

Agradeço, especialmente, ao meu orientador, Jaime Gonçalves de Almeida, sempre disponível e bem-humorado, pelo comprometimento, sábias contribuições e conselhos que engrandeceram, não só esta pesquisa, mas também a minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. José Dafico Alves e ao Prof. Dr. Khosrow Ghavami, que além de engrandeceram a banca examinadora com suas ilustres presenças, também fizeram valiosas considerações sobre a pesquisa.

Ao engenheiro Júlio Eustáquio Melo, pelas incontáveis vezes em que, prontamente, se dispôs a ajudar, participando inclusive da banca para a qualificação do projeto desta dissertação, a minha mais completa admiração.

Pelas importantes contribuições para com o trabalho, agradeço ao engenheiro florestal Sérgio Alberto de Oliveira Almeida, que também participou da qualificação desta dissertação, e ainda, ao botânico Tarciso S. Filgueiras, ao arquiteto Alejandro Luiz Pereira da Silva e ao engenheiro civil Edson de Mello Sartori.

Pela boa vontade e grande incentivo com todos aqueles que pesquisam e divulgam o uso do bambu, meus sinceros agradecimentos para Roberto Magno de Castro e Silva, que através da empresa EMBAMBU, contribuiu, grandiosamente, para a realização dos procedimentos experimentais desta dissertação.

Muito obrigada a João Soares Sobrinho, pela amizade e acolhida na marcenaria do *campus* da Universidade de Brasília, na etapa executiva dos componentes estruturais, onde sua experiência e agradável companhia facilitaram, sobremaneira, a realização dos trabalhos.

Agradeço ao carpinteiro Edinei Teixeira (Baiano), de fundamental importância, na produção dos primeiros exemplares dos componentes do protótipo.

A toda equipe do Centro de Pesquisa e Aplicação do Bambu e Fibras Naturais - CPAB, em especial a Marlúcia Almeida Felinto e Eleudo Esteves de Araújo Silva Jr., que competentemente, contribuíram para realização deste trabalho em diversos momentos.

Agradeço à Prof. Benigna Maria de Freitas, que me ensinou com verdadeiro prazer, a arte de lecionar, revelando-se as suas admiráveis contribuições, acerca da pedagogia, essenciais a qualquer profissional atuante numa instituição de ensino.

Sou extremamente grata ao amigo Luiz Henrique Pereira da Costa e a sua família por me receberem com tanto carinho, em sua residência em Goiânia, tornando a pesquisa e as viagens ainda mais agradáveis.

Aos funcionários e membros do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, pelo excelente trabalho realizado nesta instituição. E, em especial, ao coordenador do curso de mestrado, Prof. Neander Furtado, pela dedicação ao ofício e total apoio aos alunos.

A todos os meus queridos amigos e conterrâneos sul-matogrossenses, o meu muito obrigada, que através dos divertidos encontros, ajudaram-me a seguir em frente, reduzindo a saudade da família e dos amigos que lá ficaram e tornando a minha adaptação em Brasília mais fácil e tranquila.

E, claro, a todos aqueles que de alguma maneira, cooperaram para o desenvolvimento desta pesquisa, os meus mais sinceros agradecimentos.

Por fim, acredito que, diante de todas as preciosas ajudas que recebi, a maior delas foi, sem dúvida, o exemplo da solidariedade que todos tiveram comigo durante a elaboração desta pesquisa, de modo que, a forma mais correta de retribuir, é dar continuidade a esse exemplo, apoiando a todos os que de meu auxílio precisem, com a mesma boa vontade, bom humor e dedicação.

RESUMO

Esta pesquisa busca fazer uma abordagem das possibilidades estruturais dos laminados colados de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, propondo um sistema construtivo, que através da pré-fabricação de componentes modulares, pretende estimular o uso do bambu, enfocando a simplificação dos processos construtivos e a redução do impacto ambiental causado pelos convencionais métodos de construção. A pesquisa envolve ainda a avaliação computacional e o ensaio do desempenho estrutural de um protótipo, desenvolvido em escala real. Como resultado, pode-se concluir que o emprego das lâminas de bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus*, em sistemas construtivos abertos, direcionados à pré-fabricação de elementos estruturais é plenamente viável.

Palavras-chave: bambu, estruturas, sustentabilidade, pré-fabricação, padronização, arquitetura.

ABSTRACT

The main objective of this research is to present the structural possibilities of the glued laminated bamboo of the species *Dendrocalamus giganteus*, considering a constructive system, that through the daily pay-manufacture of modular components, it intends to stimulate the use of the bamboo, focusing the simplification of the constructive processes and the reduction of the environmental impact caused by the conventional methods of construction. The research still involves the computational evaluation and the assay of the structural performance of an archetype, developed in real scale. As result, it can be concluded that the use of the blades of bamboos of the species *Dendrocalamus giganteus*, in open constructive systems, directed to the daily pay-manufacture of structural elements is fully viable.

Key-words: bamboo, structures, sustainable, prefabrication, standardization, architecture.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA.....	07
1.1 Principais conceitos	
1.1.1 Sistemas construtivos.....	08
1.1.2 Sistemas estruturais.....	11
1.1.3 Elementos estruturais.....	14
1.1.4 A coordenação modular aplicada ao sistema.....	16
1.2 Bambu: a planta	
1.2.1 Aspectos botânicos.....	23
1.2.2 Distribuição geográfica.....	29
1.2.3 O cultivo do bambu.....	31
1.2.4 Conservação e imunização do bambu.....	35
1.2.5 Aspectos ambientais.....	42
1.2.6 Diversos usos e aplicações do bambu.....	47
1.3 O bambu como material construtivo	
1.3.1 Propriedades construtivas.....	53
1.3.2 Usos e aplicações do bambu na construção civil.....	61
1.3.3 Cultura construtiva do bambu: dificuldades e perspectivas.....	72
1.4 O Estado da arte do sistema construtivo em ripas laminadas de bambu	
1.4.1 O surgimento do sistema laminado.....	78
1.4.2 O uso das ripas laminadas de bambu.....	80
1.4.2.1 Aplicação das ripas laminadas de bambu.....	85

1.4.3 O uso dos laminados colados de bambu.....	90
1.4.4 Os adesivos.....	98
1.5 Apresentação da proposta: o sistema construtivo	
1.5.1 Descrição da espécie de bambu utilizada: <i>Dendrocalamus giganteus</i>	107
1.5.2 Concepção do sistema.....	110
1.5.3 Desenhos da proposta do sistema construtivo.....	114
1.5.3.1 Peça modular.....	114
1.5.3.2 Sistema estrutural.....	116
1.5.3.3 Possibilidades estruturais do sistema proposto.....	120
1.5.4 Considerações parciais.....	125
CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS.....	126
2.1 Execução do protótipo	
2.1.1 Desenho da treliça plana do tipo <i>Warren</i>	127
2.1.2 Dimensionamento estrutural.....	131
2.1.3 Confecção da Treliça.....	138
2.2 Ensaio	
2.2.1 Procedimentos.....	153
2.2.2 Ensaio do protótipo.....	154
2.3 Resultados e análises	
2.3.1 Quanto à execução do protótipo.....	158
2.3.2 Quanto ao ensaio realizado.....	162
CAPÍTULO III – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165
3.1 Conclusão.....	166
ANEXO I.....	171
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172
BIBLIOGRAFIA.....	179
ENDEREÇOS ELETRÔNICOS.....	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Nível de industrialização dos sistemas construtivos. Fonte: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1982.	10
Figura 02 -	Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de forma-ativa do tipo cabos. Fonte: ENGEL, 2001, p. 25.	12
Figura 03 -	Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de vetor-ativo. Fonte: REBELLO, 2003, p. 103.	12
Figura 04 -	Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de seção-ativa do tipo viga e pórtico. Fonte: REBELLO, 2007, p. 91.	12
Figura 05 -	Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de superfície-ativa do tipo casca. Fonte: REBELLO, 2003, p.140.	13
Figura 06 -	Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de altura-ativa. Fonte: ENGEL, 2001, p. 252.	13
Figura 07 -	Associação de diferentes elementos para composição dos sistemas estruturais. Fonte: Adaptado de REBELLO, 2003.	15
Figura 08 -	Reticulado modular espacial de referência. Fonte: Adaptado de ANDRADE, 2000.	17
Figura 09 -	Reticulado modular de referência no centro e sua projeção nos planos xy, zy e zx, definindo os quadriculados modulares de referência. Fonte: ANDRADE, 2000, p. 18.	18
Figura 10 -	(a) Bambus lignificados da espécie <i>Guadua angustifolia</i> , pertencentes à tribo <i>Bambuseae</i> e (b) Bambus herbáceos da espécie <i>Raddia sp.</i> , pertencentes à tribo <i>Olyreae</i> . Fonte: JUDZIEWICZ <i>et. al.</i> , 199, p. 243 e p. 308.	23
Figura 11 -	Fibras do bambu. Fonte: www.conban.de .	25
Figura 12 -	Rizoma leptomorfo. Fonte: Adaptado de MCCLURE, 1966.	26
Figura 13 -	Rizoma paquimorfo. Fonte: MCCLURE, 1966, p. 21.	27
Figura 14 -	Rizoma metamorfo. Fonte: Adaptado de MCCLURE, 1966.	27
Figura 15 -	Flores do bambu. Fonte: DUNKELBERG, 1985, p.64.	28
Figura 16 -	Fruto do bambu semelhante à pêra. Fonte: LIESE, 2006, p.07.	29

Figura 17 -	Distribuição geográfica original dos bambus no mundo, antes de 1960. Fonte: LÓPEZ, 2003, p.33.	29
Figura 18 -	Extensão das florestas do gênero <i>Guadua</i> , no sudoeste da Amazônia, excluindo áreas desmatadas até 2004. Fonte: BIANCHINI (<i>apud</i> NELSON, <i>et. al.</i> , 2006).	31
Figura 19 -	Propagação vegetativa utilizando partes do bambu. Fonte: MCCLURE, 1966, p.257.	33
Figura 20 -	Diferentes tamanhos de brotos de bambu cultivados pelo método <i>in vitro</i> . Fonte: VILLEGAS, 2001, p. 36.	33
Figura 21 -	Presença de manchas brancas contidas em colmos maduros. Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007, p.87.	36
Figura 22 -	(a) <i>Dinoderus minutus</i> F. e (b) <i>Rhinastus latisternus</i> C.. Fonte: (a) LIESE, 1998, p.25 e (b) SANTOS <i>et. al.</i> , 1986.	37
Figura 23 -	Armazém com aquecedor solar para secagem dos bambus. Fonte: LENGEN, 2004, p.337.	39
Figura 24 -	Método Boucherie para o tratamento dos bambus. Fonte: www.bambutico.com .	41
Figura 25 -	Organograma de possibilidades de uso do bambu. Fonte: PEREIRA (<i>apud</i> PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 155).	48
Figura 26 -	Alimentos à base de bambu. Fonte: INBAR, 2004, p.89.	48
Figura 27 -	Produtos de carvão do bambu. Fonte: INBAR, 2004, p.89.	50
Figura 28 -	Placas de laminados de bambu. Fonte: INBAR, 2004, p.89.	50
Figura 29 -	Artesanato de bambu. Fonte: www.sebraesp.com.br .	51
Figura 30 -	Vilas flutuantes na Filipinas e África. Fonte: LANGLAIS, 2002, p. 92 e p. 110.	62
Figura 31 -	Casa de aldeia construída sobre pilotis em Célebes – Indonésia. Fonte: LANGLAIS, 2002, p.65.	64
Figura 32 -	Conjunto habitacional social em Manizales - Colômbia. Fonte: LÓPEZ, 2003, p.380.	64
Figura 33 -	<i>Tongkonan</i> , tradicional construção da tribo Toraja na Indonésia. Fonte: LANGLAIS, 2002, p.65.	65
Figura 34 -	Pavilhão Zeri do Arquiteto Simon Vélez na Colômbia. Fonte: www.bambootechnologies.com .	65

Figura 35 -	Habitação popular do Programa Nacional de Bambu da Costa Rica. Fonte: www.inbar.int .	66
Figura 36 -	Protótipo de habitação popular em bambu, Maceió/AL. Fonte: www.globorural.globo.com .	66
Figura 37 -	Fachada com diversas técnicas de vedação em bambu. Fonte: LANGLAIS, 2002, p.149.	68
Figura 38 -	Andaime de bambu. Fonte: www.art.com .	69
Figura 39 -	Ligações metálicas de Renzo Piano e Shoei Yoh respectivamente. Fonte: www.bambootechnologies.com .	70
Figura 40 -	Maneira de evitar o esmagamento das peças em ligações de bambu. Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 225.	71
Figura 41 -	Antiga construção de bambu em bom estado de conservação. Fonte: LÓPEZ, 2003, p.371.	75
Figura 42 -	Estrutura Hertzner. Fonte: www.gebr-schuetz.de/hetzer .	78
Figura 43 -	Vigas laminadas de madeira. Fonte: www.industrierealbertani.it .	79
Figura 44 -	(a) Tendência de rotação pela diferença de diâmetro entre as peças. (b) Tendência de fendilhamento pela diferença de diâmetro entre as peças. Fonte: Desenhos da autora.	81
Figura 45 -	Modo de produção das lâminas. Fonte: Adaptado de LÓPEZ, 2003.	82
Figura 46 -	Região basal (A), média (B) e apical (C) do colmo. Fonte: PEREIRA, 2006, p.94.	84
Figura 47 -	Protótipo da calota achatada de bambu ripado em malha retangular quadrada. Fonte: Foto da autora.	85
Figura 48 -	Estrutura geodésica em bambu laminado e a peça laminada que a compõe. Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 332.	86
Figura 49 -	Fachada da mesquita e os detalhes das uniões das lâminas. Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 305, 306.	86
Figura 50 -	Treliça de banzos paralelos feitas de ripas de bambu. Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 299.	87
Figura 51 -	Treliça tridimensional de ripas de bambu. Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 300.	87

Figura 52 -	Forro de ripas laminadas do Aeroporto Internacional de Barajas/Espanha. Fonte: www.rsh-p.com.	88
Figura 53 -	(a) Tesouras em ripas de bambu em Juvenópolis e (b) Trelças em ripas de bambu dos galpões da nova sede da Embambu. Fonte: (a) CD-ROM cedido por SARTORI e (b) Foto da autora.	88
Figura 54 -	(a) Cama de ripas laminadas de <i>Bambusa vulgaris</i> e (b) Uso de parafusos de rosca soberba para manter as ripas coladas. Fonte: VASCONCELLOS, 2003, p. 13 e p. 04.	89
Figura 55 -	Produtos de bambu laminado colado. Fonte: www.conbam.de.	90
Figura 56 -	Compensado de bambu laminado (<i>Plyboo</i>). Fonte: Marcos Pereira (<i>apud</i> MÓIZES, 2007, P.51).	91
Figura 57 -	Fábrica de pisos laminados colados de bambu na China. Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007 – CD-ROM.	91
Figura 58 -	Emendas: em cunha simples, de topo e dentadas respectivamente. Fonte: Adaptado de MELO, 2005.	93
Figura 59 -	Amostras de bambu para ensaio de resistência mecânica. Fonte: GONÇALVES <i>et. al.</i> , 2000, p.02.	95
Figura 60 -	Esquema de retirada das ripas observado da seção transversal. Fonte: MÓIZES, 2007, p.37.	96
Figura 61 -	Elementos de uma ligação. Fonte: CARRASCO <i>et. al.</i> , 1995, p.413.	104
Figura 62 -	Conjunto vascular do <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Fonte: Adaptado de GHAVAMI <i>et. al.</i> , 2000.	107
Figura 63 -	As espessuras da parede dos colmos do <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Fonte: GHAVAMI <i>et. al.</i> , 2003, p.08.	109
Figura 64 -	Desenho esquemático do perfil modular básico do elemento pré-fabricado (em cm). Fonte: Desenho da autora.	114
Figura 65 -	(a) Ampliação da unidade básica através do acréscimo de lâminas justapostas (em cm) e (b) Ampliação da unidade básica através do acréscimo de novas unidades (em cm). Fonte: Desenhos da autora.	116
Figura 66 -	Detalhes das ligações parafusadas mais comuns para os elementos lineares de BLC. Fonte: Desenhos da autora.	118
Figura 67 -	Detalhes das ligações com conectores metálicos mais comuns para os elementos lineares de BLC. Fonte: Desenhos da autora.	119

Figura 68 -	Algumas possibilidades de treliças com elementos lineares de bambu laminado colado. Fonte: Desenhos da autora.	120
Figura 69 -	Exemplo de treliça <i>Howe</i> (a) com banzos duplos e (b) com banzos simples. Fonte: Desenhos da autora.	121
Figura 70 -	Algumas possibilidades de vigas com elementos lineares de bambu laminado colado. Fonte: Desenhos da autora.	121
Figura 71-	Algumas possibilidades de pilares com elementos lineares de bambu laminado colado. Fonte: Desenhos da autora.	122
Figura 72 -	Uma possibilidade de pórtico com elementos lineares de bambu laminado colado. Fonte: Desenho da autora.	123
Figura 73 -	Solução construtiva para impedir o acúmulo de água na base das estruturas. Fonte: Desenho da autora.	124
Figura 74 -	Fluxo das etapas gerais da fase de experimentação. Fonte: Desenho da autora.	127
Figura 75 -	Perspectiva do protótipo, sem escala. Fonte: Desenho da autora.	128
Figura 76 -	Desenho básico da treliça de banzos paralelos (em cm). Fonte: Desenho da autora.	128
Figura 77 -	Detalhe das peças intercaladas, sem escala. Fonte: Desenho da autora.	129
Figura 78 -	Determinação dos esforços atuantes nas barras da treliça. Fonte: Adaptado de Programas em <i>Basic</i> para Cálculos em Engenharia.	132
Figura 79 -	Esquema de distribuição dos parafusos nas ligações entre os componentes dos banzos. Fonte: Desenho da autora.	136
Figura 80 -	Detalhes dos espaçamentos entre as peças que compõem os banzos. Fonte: Desenhos da autora.	136
Figura 81 -	Esquema de distribuição dos parafusos conforme a solicitação nas barras. Fonte: Desenho da autora.	137
Figura 82 -	Detalhes dos espaçamentos entre os parafusos nas diagonais. Fonte: Desenhos da autora.	137
Figura 83 -	Colmos da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> após passarem pela serra de discos duplos. Fonte: Foto da autora.	140

Figura 84 -	Diferentes cortes e posições para extração das lâminas. Fonte: STAMM, 2002, p. 03.	141
Figura 85 -	Plaina elétrica de bancada. Fonte: Foto da autora.	142
Figura 86 -	Saída da lâmina da plaina desengrosso de 1 face - retirada da casca. Fonte: Foto da autora.	142
Figura 87 -	Agrupamento das lâminas em lotes de acordo com as suas dimensões. Fonte: Foto da autora.	143
Figura 88 -	Aplicação do adesivo e alinhamento das lâminas. Fonte: Fotos da autora.	144
Figura 89 -	Lâminas na prensa a frio do tipo trilho-sargento. Fonte: Foto da autora.	145
Figura 90 -	Recursos para facilitar a o processo de prensagem do material. Fonte: Foto da autora.	146
Figura 91 -	(a) Componentes na desempenadeira e (b) Após o processo com 1 face plana. Fonte: Fotos da autora.	147
Figura 92 -	Figura 89: Elementos no desengrosso. Fonte: Fotos da autora.	147
Figura 93 -	Elementos trabalhados na serra circular de bancada. Fonte: Fotos da autora.	148
Figura 94 -	Peças na lixadeira elétrica e já prontas com os primeiros acabamentos. Fonte: Fotos da autora.	148
Figura 95 -	Elementos compostos na prensa a frio. Fonte: Foto da autora.	149
Figura 96 -	Nivelamento das superfícies dos elementos compostos na desempenadeira. Fonte: Foto da autora	150
Figura 97 -	Método de perfuração com gabarito usado na furadeira de bancada. Fonte: Fotos da autora.	150
Figura 98 -	Marcação das aberturas e posterior perfuração com a furadeira elétrica manual. Fonte: Fotos da autora.	151
Figura 99 -	Acabamento final com a aplicação do selador. Fonte: Fotos da autora.	152
Figura 100 -	(a) Sistema hidráulico apoiado sobre a viga de reação e (b) fonte de pressão. Fonte: Fotos da autora.	153

Figura 101 - (a) Medidor portátil e (b) extensômetro já posicionado na estrutura. Fonte: Fotos da autora.	154
Figura 102 - Sistema de barras para distribuição uniforme das cargas aplicadas. Fonte: Desenho da autora.	154
Figura 103 - Gráfico gerado pela relação: aplicação de carga <i>versus</i> tempo.	155
Figura 104 - Gráfico gerado pela relação entre a carga aplicada e a flecha na região central da treliça	156
Figura 105 - Seqüência de ruptura da estrutura no ensaio. Fonte: Fotos da autora.	157
Figura 106 - Irregularidade dimensional entre a união das peças compostas. Fonte: Foto da autora.	159
Figura 107 - Fibras do bambu esmagadas pela cabeça do parafusos. Fonte: Foto da autora.	159
Figura 108 - Ajuste em parte das arruelas. Fonte: Foto da autora.	160
Figura 109 - Flechas resultantes dos experimentos teórico e prático.	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tempo de secagem dos colmos de bambu. Fonte: GRAÇA, 1988, p.48.	39
Tabela 02 - Relação entre a energia gasta para produção por unidade de tensão. Fonte: GHAVAMI, 1990, p.151.	43
Tabela 03 - Relação entre a resistência à tração e o peso específico. Fonte: GHAVAMI, 1990, p.157.	55
Tabela 04 - Propriedades físicas do bambu Fonte: GRAÇA, 1988, p.26.	57
Tabela 05 - Módulo de elasticidade referente à compressão. Fonte: SILVA; SOUTO, 2000, p. 60.	58
Tabela 06 - Propriedades mecânicas Fonte: GHAVAMI, 1990, p.155.	58
Tabela 07 - Densidade específica de algumas espécies de bambus usados na construção civil. Fonte: NAÇÕES UNIDAS, 1972, p.90.	59
Tabela 08 - Porcentagem do consumo de bambu em alguns países asiáticos. Fonte: LESSARD; CHOUINARD, 1980.	63
Tabela 09 - Características mecânicas das ripas laminadas e massa específica considerando o colmo inteiro (regiões A, B e C). Fonte: PEREIRA, 2006, 101.	85
Tabela 10 - Valores médios obtidos nos diversos ensaios de resistência mecânica das amostras de bambu laminado colado e de bambu serrado em forma de ripa. Fonte: GONÇALVES <i>et al.</i> , 2000, p.03.	95
Tabela 11 - Características mecânicas do bambu laminado colado (BLC). Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 187.	96
Tabela 12 - Tração normal e cisalhamento na linha de colagem do BLC. Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 193.	97
Tabela 13 - Relação entre temperatura ambiente e tempo de prensagem. Fonte: Manual Técnico – Borden Química <i>in</i> Iwakiri, 2005, p.26.	104
Tabela 14 - Distribuição dos elementos anatômicos ao longo do colmo da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Fonte: Beraldo; Zoulalian, 1995, p. 431.	108
Tabela 15 - Teores de amido e frações fibrosa e residual da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Fonte: Azzini; Beraldo, 2000, p.48.	108
Tabela 16 - Propriedades mecânicas do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> Fonte: Lima Jr. <i>et al.</i> (<i>apud</i> LIMA Jr.; DIAS, 2001, p. 520).	110

Tabela 17 - Resistência à flexão do <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Fonte: Beraldo <i>apud</i> MOIZÉS, 2007, p.35.	110
Tabela 18 - Simulação computacional para obtenção dos deslocamentos verticais.	132
Tabela 19 - Recomendação do tempo de cura. Fonte: Instruções de uso do produto	146
Tabela 20 - Acréscimo de carga em relação ao tempo.	155
Tabela 21 - Leituras dos deslocamentos verticais em relação às forças aplicadas.	156
Tabela 22 - Flechas obtidas via <i>software</i> , via ensaio e flecha admissível.	163
Tabela 23 - Diâmetro do parafuso (δ) e coeficiente (η). Fonte: Melo, 2008, p. 44.	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Relação das espécies de acordo com a finalidade de uso. Fonte: SALGADO; GODOY Jr. 2002, p. 31.	51
Quadro 02 - Classificação dos adesivos quanto a origem, uso e condição de exposição. Fonte: JESUS <i>apud</i> RIVERO, 2003, p.21.	102
Quadro 03 - Peças componentes da treliça de bambu laminado colado.	130
Quadro 04 - Principais materiais empregados na execução do protótipo.	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	- antes de Cristo.
ABC	- Agencia Bambu de Conhecimento.
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AL	- Estado de Alagoas.
BLC	- Bambu laminado colado.
CD-ROM	- <i>Compact Disc read-only memory</i> .
CEPASA	- Celulose e Papel Pernambuco S/A.
CO²	- Dióxido de carbono.
CPAB-	- Centro de Pesquisa e Aplicação do Bambu e Fibras Naturais.
CPB	- Contraplacado de bambu.
CV	- Coeficiente de variação.
D.M.S.	- Diferença mínima significativa.
Embambu	- Empresa de Artefatos em Bambu.
Eng^o.	- Engenheiro.
Glulam	- <i>Glued-laminated timber</i> .
GO	- Estado de Goiás.
HABITARE	- Programa de Tecnologia de Habitação.
IAC	- Instituto Agrônomo de Campinas.
IDHEA	- Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica.
INBAR	- <i>International Network Bamboo and Rattan</i> .
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
LPF	- Laboratório de Produtos Florestais.
MDF	- <i>Medium Density Fiber</i> .
MOE	- Módulo de elasticidade.
Msc.	- <i>Master of Science</i> .
NBR	- Norma Brasileira.
ONU	- Organizações das Nações Unidas.
OSB	- <i>Oriented Strand Board</i> .
Plyboo/ Plybamboo	- Termo para <i>laminated bamboo</i> .
PROP.	- Propriedades.
PVA	- Acetato de polivinila.
PVC	- Poli(Cloreto de Vinila).
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro.
sp.	- <i>species</i> (singular).
UnB	- Universidade de Brasília.
Unesp	- Universidade Estadual Paulista.
USP	- Universidade de São Paulo.

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{\Delta}$	- Flecha.
$\bar{\sigma}_c$	- Tensão admissível na compressão paralela às fibras.
$\bar{\sigma}_s$	- Limite mínimo de escoamento especificado para o aço do parafuso.
$\bar{\sigma}_{bp}$	- Tensão básica paralela às fibras.
$\bar{\sigma}_{bn}$	- Tensão básica perpendicular às fibras.
ω_p	- Capacidade de carga por parafuso Paralela às fibras.
ω_n	- Capacidade de carga por parafuso perpendicular às fibras.
\bar{F}_p	- Força admissível paralela às fibras.
\bar{F}_n	- Força admissível perpendicular às fibras.
\bar{F}_0	- Força admissível por parafuso.
τ	- Tensão de cisalhamento.
%	- Unidade de medidas em porcentagem.
θ	- Ângulo.
μm	- Unidade de medidas em micrometro.
b	- Largura da peça principal medida na direção do eixo do parafuso.
cm	- Unidade de medidas em centímetros.
E	- Valor médio do módulo de elasticidade.
E_b	- Módulo de elasticidade à flexão.
E_c	- Módulo de elasticidade à compressão.
E_o	- Módulo de elasticidade paralelo às fibras.
E_t	- Módulo de elasticidade à tração.
f_o	- Tensão de ruptura paralela às fibras.
g/cm³	- Unidade de medidas em gramas por centímetros cúbicos.
g/kg	- Relação de gramas por quilograma.
Gpa	- Unidade de medida em Giga Pascal.
ha/ano	- Unidade de medida em hectares por ano.
ha/ano	- Unidade de medidas em hectares por ano.
Kg	- Unidade de medidas em quilogramas.
kg/cm²	- Unidade de medidas em quilogramas por centímetros quadrados.
Kg/m³	- Unidade de medidas em quilogramas por centímetros cúbicos.
Kgf	- Unidade de medidas em quilogramas força.

KJ/m²	- Unidade de medidas em quilojoule por metros quadrados.
Km/m³	- Unidade de medidas em quilômetros por metros cúbicos.
Km²	- Unidade de medidas em quilômetros quadrados.
Lux	- Unidade de medida de iluminância (lx).
m	- Unidade de medidas em metro.
M	- Módulo básico.
m²	- Unidade de medidas em metros quadrados.
m³	- Unidade de medidas em metros cúbicos.
MJ	- Unidade de medida em Mega Joule.
mm	- Unidade de medidas em milímetros.
MPa	- Unidade de medida em Mega Pascal
mV	- Unidade de medida em milivolt.
N	- Número de amostras.
N	- Esforços atuantes.
N/mm²	- Unidade de medida newton por milímetro quadrado.
°C	- Unidade de temperatura em graus celsius.
P	- Carga aplicada.
p.	- Página.
R	- Resistência.
s	- Segundos.
U	- Umidade.
w	- Peso específico.
δ	- Diâmetro do parafuso.
η	- Coeficiente em função do diâmetro dos parafusos.
ρ	- Densidade aparente.
σ	- Tensão admissível.
σ_b	- Tensão admissível à flexão.
σ_c	- Tensão admissível à compressão.
σ_t	- Tensão admissível à tração.

INTRODUÇÃO

Defender e estudar o meio ambiente deixou de ser assunto apenas para os ambientalistas. A exploração predatória e desordenada dos recursos naturais, somados aos efeitos nocivos da poluição, exigem medidas transformadoras com relação à natureza e ao empenho de todos os segmentos da sociedade para tornar o Planeta um local mais sustentável.

Os níveis alarmantes de poluição, de escassez de energia e água, a elevação da temperatura global, entre outros, levam a crer que as mudanças ambientais induzidas pelas atividades humanas excederam o ritmo natural da evolução, obrigando a urgente busca por soluções adequadas à redução dos problemas criados com tamanho descontrole.

Atualmente o grande desafio da humanidade passou a ser o desenvolvimento sustentável, ou seja, a conciliação entre o desenvolvimento econômico, social e ambiental, que, necessariamente, devem interagir de forma equilibrada.

Para Boff (1999, p. 137):

Sustentável é a sociedade ou o planeta que produz o suficiente para si e para os seres do ecossistema onde ela se situa; aquela sociedade que pega da natureza só o que essa natureza pode repor; e que mostra um sentido de solidariedade, ao preservar para as sociedades futuras os recursos naturais de que elas necessitarão. Na prática, a sociedade deve mostrar-se capaz de assumir novos hábitos e de projetar um tipo de desenvolvimento que cultive o cuidado com os equilíbrios ecológicos e funcione dentro dos limites impostos pela natureza.

A preocupação em relação ao meio-ambiente começa a surgir na década de 1940, quando mundo percebe que o modelo vigente não é sustentável. Tanto que em 1948, as autoridades reconheceram formalmente os problemas ambientais, na reunião do Clube de Roma, que constatou a finitude dos recursos naturais e solicitou o estudo intitulado “*Limites do Crescimento*” (Meadows, 1972), publicado por ocasião da 1ª Conferência Mundial do Meio Ambiente de 1972, em Estocolmo.

A Conferência de Estocolmo, promovida pela ONU, reuniu delegados de 113 países e várias organizações mundiais e resultou na Declaração sobre o Ambiente Humano, determinando ao mundo que, tanto as gerações presentes como as futuras tenham reconhecidas, como direito fundamental, a vida num ambiente sadio e não degradado.

Com essa nova mentalidade, os bens de consumo e serviços passam a ser utilizados de forma racional e sustentável, evitando a escassez dos recursos naturais tão necessários para a sobrevivência da humanidade.

De fato, o conceito de sustentabilidade aplicado à arquitetura significa um enorme avanço ambiental, ao mesmo tempo em que reduz os gastos energéticos, a emissão de poluentes e não esgota os recursos finitos do planeta.

Decorre daí a importância em pesquisar tecnologias que utilizem materiais não-convencionais e que tenham várias qualidades, como é o caso do bambu, que além de ser uma matéria-prima renovável, econômica e durável, possui propriedades físicas e mecânicas adequadas à construção, bem como, alta resistência à tração e isolamento termo-acústico, sem contar a estética e a fácil associação a outros materiais. (LENGEN, 2004)

Dessa forma, a utilização do bambu vem a ser uma possibilidade que viabiliza o desenvolvimento sustentável, pois a adoção de tecnologias apropriadas contribui para a promoção da sustentabilidade, visando à produção de bens, a economia de matéria prima e de energia, redução dos custos despendidos pela utilização de métodos construtivos convencionais, garantindo um maior respeito ao meio ambiente, bem como, o fácil acesso à população.

Entretanto, é reconhecido que o Brasil possui pouca tradição no uso do bambu, ao contrário dos países asiáticos, como a China e o Japão e alguns países sul-americanos, como a Colômbia e o Equador, que possuem toda uma cadeia produtiva desenvolvida a partir desse material.

Mas, observando todo o potencial construtivo e adaptabilidade dessa planta em nosso território, a adoção de técnicas construtivas com o bambu, e em especial,

em forma de lâminas, tema focado nesta dissertação, torna o seu uso mais adequado às nossas condições, permitindo este recurso seja mais facilmente aproveitado, quando empregado em sistemas construtivos voltados para a pré-fabricação de elementos seriados.

Ao propor o enfoque de estudo, os conceitos: pré-fabricação de componentes padronizados e a coordenação modular aplicada ao sistema construtivo se destacam, entre os principais elementos a serem considerados para a elaboração da pesquisa em razão da necessidade de adotar soluções que visem à simplicidade e à racionalização dos processos de produção e execução de estruturas com o uso do bambu laminado colado.

Neste enfoque, a arquitetura que tem o papel de manter e gerar o bem-estar da sociedade pode, através da implementação de sistemas construtivos com o uso do bambu, diminuir os impactos ambientais negativos, bem como, contribuir com novas opções tecnológicas para a indústria da construção civil.

Com base no exposto, para a elaboração da pesquisa, foram estabelecidos os objetivos, divididos em geral e específicos, descritos a seguir:

Objetivo geral

Propor um sistema construtivo com o uso do bambu laminado colado, através da pré-fabricação de componentes estruturais modulares, para estimular o uso do bambu, enfocando a simplificação dos processos construtivos e a redução do impacto ambiental causado pelos convencionais métodos de construção.

Objetivos específicos

- a) Desenvolver e avaliar um sistema estrutural construtivo com o uso do bambu laminado colado, adequado à produção de elementos construtivos em âmbito nacional;
- b) Levantar precedentes arquitetônicos com a finalidade de embasamento técnico para elaboração do sistema construtivo;

- c) Demonstrar os benefícios da utilização do bambu na forma de lâminas para a produção de componentes padronizados com vistas à produção industrial;
- d) Realizar um estudo sobre a viabilidade e as vantagens de um sistema estrutural construtivo em bambu laminado colado com aspectos pertinentes à qualidade dos componentes produzidos pelo processo da pré-fabricação e às possibilidades do seu emprego na construção de estruturas; e
- e) Avaliar o desempenho, facilidades e dificuldades construtivas encontradas no sistema, através do exercício experimental de execução e ensaio de um protótipo no intuito de aprimorar o sistema proposto.

Para o desenvolvimento da dissertação e a realização dos objetivos traçados, foi adotada a seguinte metodologia de pesquisa:

- a) A fundamentação teórica, juntamente com a elaboração de um banco de informações sobre a temática;
- b) Levantamento sobre o estado da arte dos sistemas construtivos em ripas e lâminas de bambu como respaldo para a proposta em discussão;
- c) Proposição do sistema, através da representação gráfica, demonstrando as suas possibilidades construtivas;
- d) Desenvolvimento do projeto arquitetônico e execução de um protótipo como parte do exercício da experimentação;
- e) Realização do ensaio para verificação do comportamento estrutural do protótipo; e
- f) Análise e comparação dos dados obtidos nas etapas experimentais.

Assim, a estrutura que compõe a dissertação, foi dividida em três capítulos organizados para facilitar a compreensão desse trabalho.

A revisão de literatura, capítulo I, se divide nas seguintes seções: *1.1 Principais Conceitos*, que abrangem as considerações fundamentais sobre sistemas construtivos e dos elementos que os compõem, expondo as suas definições e formas estruturais de atuação, incluindo, ainda, a relevância da coordenação modular aplicada aos processos construtivos.

Em *Bambu: a planta*, seção 1.2, abordam-se os aspectos essenciais ao conhecimento do bambu, em termos de planta, da sua distribuição geográfica, propagação e conservação, evidenciando a sua importância ambiental e a versatilidade de usos.

Na seção 1.3, destaca-se o uso do bambu na construção civil, apresentando as características que possibilitam o seu uso como matéria-prima nesse importante setor, discutindo inclusive, as limitações e perspectivas sobre seu potencial construtivo.

Na seção seguinte 1.4, relata-se o surgimento do sistema de lâminas, primeiramente, com o uso da madeira e, posteriormente, aplicado ao bambu. Trata-se de um levantamento acerca do tema, através da exposição de algumas pesquisas e trabalhos envolvendo o uso das ripas e lâminas de bambu em diferentes sistemas construtivos.

A seção 1.5, finalizando a revisão de literatura, trata da proposta do sistema construtivo em bambu laminado colado, descrevendo as diretrizes para a elaboração do sistema, seguidos da apresentação do módulo básico e da sugestão de algumas possibilidades construtivas com a utilização dos componentes pré-fabricados.

Em *Materiais e Métodos*, capítulo II, encontra-se a descrição de toda a etapa da experimentação, começando pela seção de número 2.1, que relata todo o processo para a confecção do protótipo, desde a elaboração do projeto arquitetônico até a montagem da treliça, reunindo alguns indicadores para a melhoria da proposta.

Na seção 2.2, são apresentados: o método de ensaio e os resultados preliminares, que juntamente com resultados obtidos nos itens anteriores da etapa da experimentação, foram sistematizados e analisados, na seção 2.3, verificando os pontos positivos e negativos de todo o processo, visando o aprimoramento do sistema.

Nas *Considerações finais*, capítulo III, são feitas as conclusões sobre os resultados alcançados com a elaboração dessa dissertação, apontando algumas

diretrizes para trabalhos futuros que contribuam para o aperfeiçoamento do sistema construtivo proposto.

Por fim, são reunidos em *Referências bibliográficas* e em *Bibliografia*, todos os autores e fontes de pesquisa utilizadas, fundamentais no desenvolvimento dessa dissertação.

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

1.1 PRINCIPAIS CONCEITOS

1.1.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

“Construir é associar, convenientemente os materiais tendo em vista exprimir um pensamento, uma idéia. O modo de reuni-los constitui o processo ou sistema construtivo”. (PIANCA *et al.*, 1977, p. 03)

Segundo Tacla (1984), o termo sistemas construtivos pode ser definido como o conjunto de regras práticas, ou o resultado de sua aplicação, de uso adequado e coordenação de materiais e mão-de-obra para a feitura de uma construção ou parte dela.

Campos (2007) sugere ainda que sistema construtivo, em nossos dias, equivale ao conjunto de componentes entre os quais se possa atribuir ou definir uma relação, coordenados dimensional e funcionalmente, entre si, como estrutura organizada.

Através dos tempos, os sistemas construtivos se modernizaram de acordo com os recursos disponíveis encontrados pelo homem ao longo de sua história. Eles são tão antigos quanto o próprio homem e seus primeiros abrigos intencionalmente construídos para sua proteção contra as intempéries e os inimigos.

A partir daí, à medida que o homem dispôs de novos materiais e de conhecimentos mais aprofundados do comportamento dos mesmos, foram os sistemas construtivos evoluindo até os últimos séculos quando a industrialização, que proporcionou a produção em massa do aço, do cimento e de outros materiais, veio impulsionar a técnica para novos rumos. (PIANCA, *loc. cit.*). Sendo possível a construção de praticamente todas as formas, inclusive em grandes escalas, os sistemas construtivos tornaram-se, desde então, parte fundamental na elaboração e execução de projetos.

Sabbatini (*apud* BARBOSA, 2005, p.36) coloca também que “sistema construtivo é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados”. Ou seja, o autor não considera os sistemas construtivos

convencionais, onde não estejam presentes altos níveis de industrialização, tão comuns no Brasil, como por exemplo, a construção em blocos de concreto, alvenaria e de outros elementos pré-fabricados.

Para Pianca (*loc. cit*), o desenvolvimento acelerado que se observa na produção de novos materiais, com novas qualidades e propriedades, irá indubitavelmente encaminhar a arte de construir para novas técnicas.

Diante dos conceitos expostos, pode-se definir sistema construtivo como um conjunto de elementos, materiais, técnicas e componentes da construção empregados na concretização de espaços previamente planejados. E, de acordo com a literatura pesquisada, os sistemas se dividem em dois grupos: sistemas abertos e sistemas fechados.

Os sistemas abertos apresentam flexibilidade nos processos de produção, proporcionando ao projeto uma gama de possibilidades espaciais. Emprega elementos e componentes da construção padronizados podendo associar diferentes técnicas construtivas, que podem ser convencionais ou pré-fabricadas.

Conforme Farah (*apud* PEREIRA, 2005), a flexibilização e a produtividade são incorporadas na utilização de sistemas pré-fabricados abertos, que procuram induzir à racionalização no processo de trabalho, a partir de inovações nos sistemas construtivos. Ou seja, a produtividade do processo é buscada na fábrica, através da produção seriada e controlada dos componentes do sistema, e no canteiro, através de características do produto, visando à racionalização da produção. Assim, a flexibilidade fica embutida na possibilidade de diferentes combinações entre os elementos pré-fabricados dada pela industrialização aberta.

Já os sistemas fechados possuem pouca flexibilidade arquitetônica, caracterizado por um projeto rígido. É um sistema padronizado que pode ser racionalizado ou industrializado.

A construção racionalizada propõe a pré-fabricação de grandes componentes, contendo os dutos das instalações elétricas e hidro-sanitárias embutidas, os acabamentos primários das superfícies e as aberturas para esquadrias. Esse

sistema é apropriado para construções que dispõem de mão-de-obra especializada e grandes equipamentos de montagem.

Na opção industrializada, existe a pré-fabricação volumétrica da edificação, nesse caso, ambientes inteiros chegam à obra somente para receber os acabamentos finais, exigindo um alto nível tecnológico, tanto na fabricação, como na execução do edifício.

A figura 01 a seguir representa bem o nível de industrialização dos sistemas construtivos industrializados e não- industrializados, destacando a divisão de tarefas entre a fase projetual e a execução no canteiro de obras presentes em cada sistema.

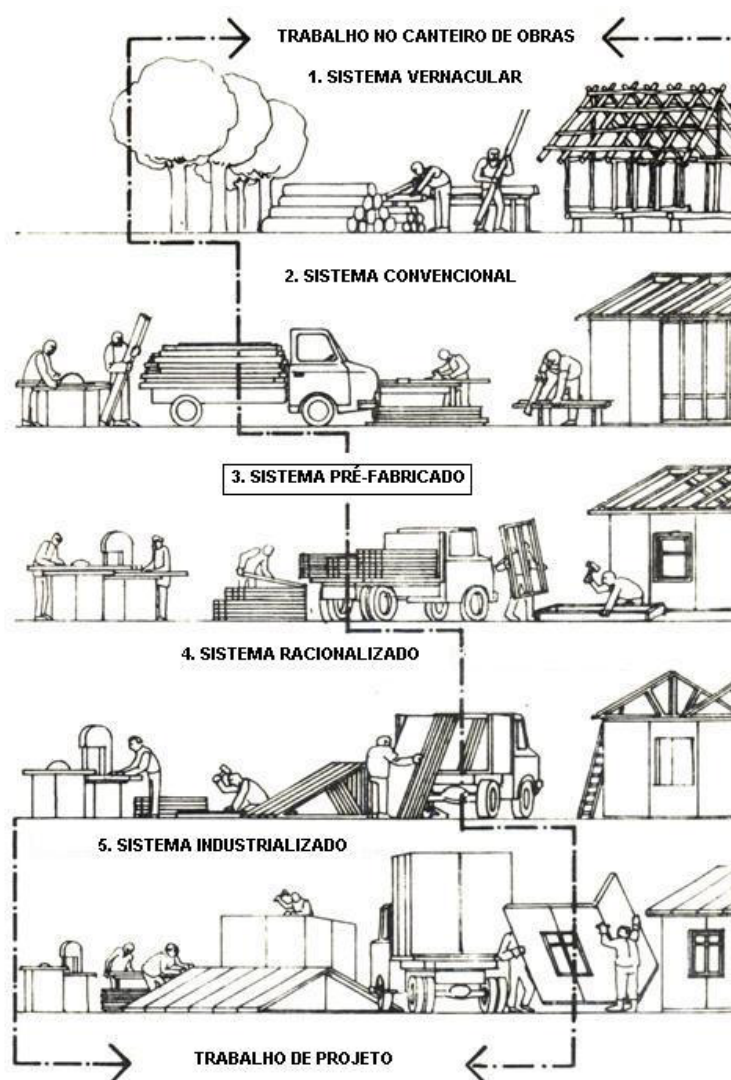


Figura 01: Nível de industrialização dos sistemas construtivos.
Fonte: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1982.

1.1.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS

A palavra estrutura tem amplo significado, não sendo aplicado somente às edificações. Pelo contrário, ela faz parte de tudo a nossa volta, formando um sistema composto de elementos conjugados para desempenhar uma função.

Assim, de modo geral, somente através de suas estruturas os sistemas permanecerão estáveis e manterão suas funções essenciais de sustentação da forma material.

No caso das edificações, “a estrutura é também um conjunto de elementos – [fundações], lajes, vigas e pilares – que se inter-relacionam – laje apoiando em viga, viga apoiando em pilar – para determinar uma função: criar um espaço em que pessoas exercerão diversas atividades”. (REBELLO, 2003, p. 21)

E pode ser definida ainda, conforme Weidle (*apud* SILVA; SOUTO, 2000, p.13) como:

Sistema material da edificação capaz de transmitir cargas e absorver esforços, de modo a garantir a estabilidade, a segurança e a integridade da construção, cooperando na sua organização espacial e na sua expressão, mediante o adequado emprego dos materiais, das técnicas, dos processos e dos recursos econômico-financeiros.

Este é um dos desafios que a engenharia de estruturas enfrenta, ou seja, a concepção de sistemas seguros e economicamente viáveis para estabilizar grandes construções, transferindo da melhor forma possível a combinação de esforços aplicados em seu conjunto.

Engel (2001) explica que sistema estrutural é um esquema operacional e ilustrado para redistribuição e transmissão de forças dentro da construção. É a base geométrica para os mecanismos de equilíbrio de forças dentro da construção. E que se classificam em cinco grupos: 1) forma-ativa, 2) vetor-ativo, 3) seção-ativa, 4) superfície-ativa e 5) sistemas de altura-ativa.

Segundo a classificação de Engel (2001), os 1) sistemas de forma-ativa (figura 02) são sistemas flexíveis de material não rígido, nos quais a redistribuição

de forças é efetuada por um desenho de forma particular e caracterizada pela estabilização da forma. São exemplificados pelos sistemas de cabos, tendas, os sistemas pneumáticos e os arcos.

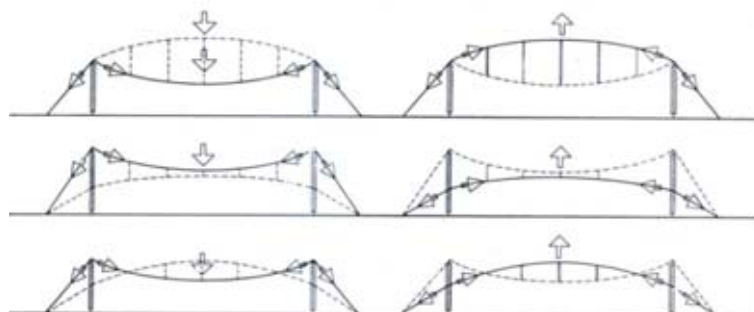


Figura 02: Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de forma-ativa do tipo cabos.
Fonte: ENGEL, 2001, p. 25.

Os sistemas estruturais de 2) vetor-ativo são formados por componentes lineares curtos, sólidos, retos, em que a redistribuição de forças é efetuada por divisória de vetor (barras de compressão ou tensão) como pode ser observado na figura 03. Nesse grupo estão as treliças de todos os tipos.

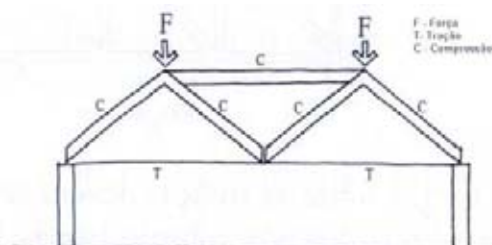


Figura 03: Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de vetor-ativo.
Fonte: REBELLO, 2003, p. 103.

Já os sistemas de 3) seção ativa (figura 04), ainda pela definição do mesmo autor, são compostos por elementos lineares rígidos, sólidos, onde as forças são redistribuídas pela mobilização de forças seccionais (internas), caracterizados pelas vigas, os pórticos, malhas de vigas e as lajes.

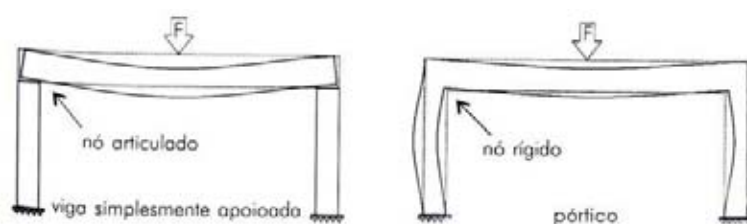


Figura 04: Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de seção-ativa do tipo viga e pórtico.
Fonte: REBELLO, 2007, p. 91.

Os sistemas planos flexíveis e resistentes à compressão, tensão e cortes são características dos sistemas estruturais de 4) superfície-ativa (figura 05), nos quais o caminho das forças é efetuado pela resistência e forma particular de superfície. Aqui se encontram as placas, placas dobradas e sistemas de cascas.

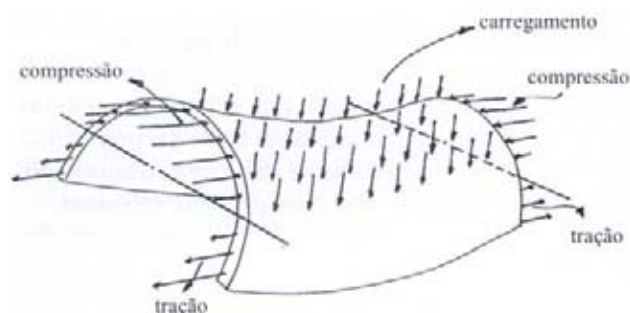


Figura 05: Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de superfície-ativa do tipo casca.
Fonte: REBELLO, 2003, p.140.

E finalmente, o 5) sistema estrutural de altura-ativa formado pelos arranha-céus do tipo modular, de vão livre, em balanço e do tipo ponte. Nesse grupo, a distribuição das forças é exigida pela extensão da altura, isto é, o reagrupamento e fundação das cargas de pavimentos e cargas de vento são feitos por estruturas a prova de altura, conforme a figura 06 a seguir.

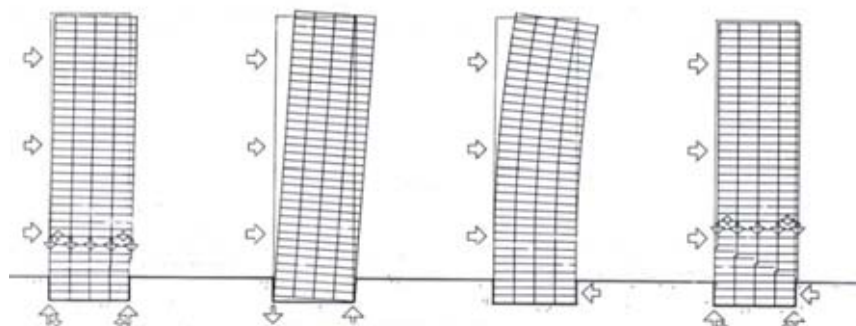


Figura 06: Exemplo da redistribuição dos esforços no sistema de altura-ativa.
Fonte: ENGEL, 2001, p. 252.

Viu-se, então, que sistema estrutural, no caso das edificações, é um conjunto de elementos que torna possível a redistribuição das cargas descarregadas no solo, a fim de garantir a estabilidade, segurança e integridade da construção. Os elementos estruturais que formam esse conjunto serão apresentados no próximo item.

1.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

“Elementos estruturais são todos os sólidos dotados de propriedades elásticas, capazes de receber e transmitir cargas. A associação de elementos estruturais convenientemente ligados constitui uma estrutura”. (SILVA, SOUTO, 2000, p. 39)

Para Rebello (2003), não é somente a resistência do material que garante a um elemento da estrutura a capacidade de suportar cargas. Segundo o autor, a forma é muitas vezes mais determinante do que a própria resistência do material. Assim, quando a forma de uma peça estrutural é bem elaborada, ou seja, adequadamente projetada para o vão e carregamento proposto, ela se traduz em ganho na sua capacidade resistente, isto pode inclusive, significar um ganho para própria arquitetura, que em muitas ocasiões, a forma do elemento estrutural é determinante da arquitetura.

O conjunto de elementos estruturais é formado por lajes, vigas, pilares e fundações que devem ser utilizados em função de cada tipo de projeto, estabelecendo relações entre os demais projetos componentes da edificação. A soma desses componentes estruturais permite a redistribuição de forças, preservando a forma e a função de suportar as cargas a que uma edificação é submetida.

Silva e Souto (2000) situam os elementos estruturais em três grupos: os elementos lineares, os elementos de superfície e os elementos de volume. Os elementos lineares são gerados por uma superfície plana, na qual o baricentro, ou, centro de gravidade do elemento percorre uma curva plana, ou reversa, cujo comprimento é consideravelmente maior que as dimensões da superfície. Fazem parte deste grupo: as vigas, os arcos, as molas, os pilares, as árvores de transmissão (eixos), as escoras, os cabos, os pórticos, etc.

Já os elementos de superfície caracterizam-se por duas dimensões consideravelmente maiores que a terceira (espessura). São exemplos as vigas-parade, as placas, as cascas e membranas, entre outros. E os elementos de volume são aqueles em que as três dimensões são consideráveis e, em geral as cargas são

predominantemente compressivas. Encaixam-se, neste grupo, os blocos de fundação, as sapatas, os blocos de coroamento, as barragens e etc.

Outros autores classificam os elementos estruturais de acordo com a geometria. Os tipos de esforços suportados, assim são classificados: em barras (elementos lineares sujeito a esforços longitudinais), veios de transmissão (elemento linear sujeito a torção) e vigas (elemento linear sujeito a esforços de flexão) que dispostos e interligados, ordenadamente, formam o todo estrutural transmitindo as forças atuantes numa edificação.

Rebello (2003) ressalta que os elementos precisam estar associados entre si para constituir uma estrutura, pois somente a associação mínima desses componentes poderá promover a redistribuição dos esforços solicitantes. Assim, a combinação adequada dos elementos estruturais atribui sentido à estrutura e, conseqüentemente, à arquitetura.

A figura 07 a seguir apresenta um exemplo da associação de diferentes elementos, formando os sistemas estruturais, partes de uma estrutura.

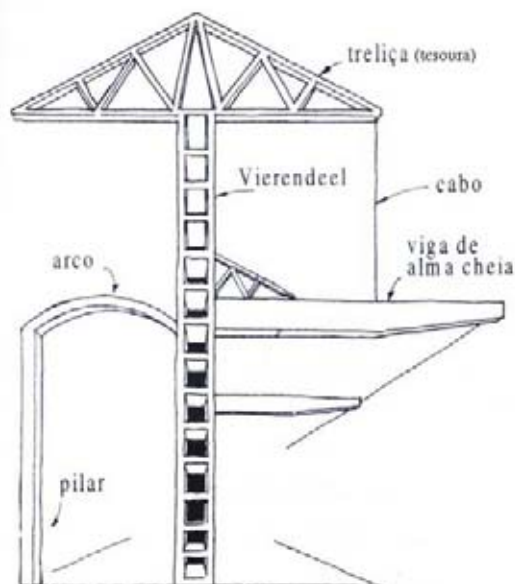


Figura 07: Associação de diferentes elementos para composição dos sistemas estruturais.
Fonte: Adaptado de REBELLO, 2003.

1.4 A COORDENAÇÃO MODULAR APLICADA AO SISTEMA

Ao fazer uso de um sistema construtivo do tipo aberto, que utiliza elementos pré-fabricados, é preciso que se estabeleça uma relação entre os componentes a serem aplicados na obra. Essa relação é estabelecida pela coordenação modular, que compatibiliza as dimensões dos diversos produtos pré-fabricados para serem empregados ordenadamente desde a fase de fabricação, passando pelo projeto, até a execução da obra.

A coordenação modular “é uma técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência”. (TACLA, 1984)

Na concepção de Franco (2007), pode ser definida como uma técnica que permite relacionar de maneira coordenada as dimensões de todos os elementos, permitindo sua conexão através de um processo de montagem, caracterizando o princípio básico da industrialização.

Sendo assim, essa técnica é de fundamental importância para desenvolvimento dos sistemas construtivos, especialmente para seu aperfeiçoamento, simplificação e redução das casualidades presentes na construção tradicional.

O uso da coordenação modular aplicada à construção apresenta vantagens como a racionalização dos processos construtivos, flexibilidade de usos, redução de custos e prazos, padronização dos produtos, aumento da precisão e redução de erros de projeto e execução. Isso porque é possível constituir um sistema capaz de ordenar e racionalizar a confecção de qualquer objeto, desde o projeto até a fase final da construção.

Embora seja mais utilizada em grandes construções, que exigem um sistema construtivo racionalizado, a prática de padronização através da coordenação modular, transfere a produção artesanal dos elementos construtivos do canteiro de obras para oficinas e fábricas, assegurando a qualidade do produto e permitindo a sua produção em grande escala.

Para a integração do sistema, os componentes devem estar coordenados dimensional e sistematicamente organizados, para isso, é fundamental a padronização dos elementos, de modo que estejam uniformizados e agregados, seguindo um modo racional de aplicação em função do módulo básico definido. (ANDRADE, 2000)

Por módulo básico, entende-se como a medida mínima de referência da qual devem derivar as medidas em projeto e obra. Corresponde a uma medida mínima divisora comum, que visa coordenar as dimensões dos elementos de construção. O desenho do reticulado modular espacial de referência (figura 08) resulta dessa medida. Por convenção internacional, o módulo básico (M) mede 10 cm. (CARVALHO, 2003)

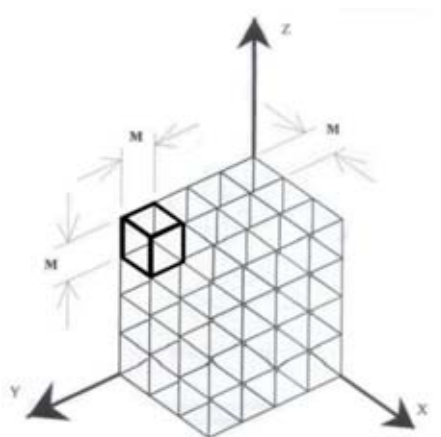


Figura 08: Reticulado modular espacial de referência.
Fonte: Adaptado de ANDRADE, 2000.

Na coordenação modular, o módulo está representado pela distância entre os planos que definem os quadriculados modulares de referência (figura 09). Deve ser medido em função das dimensões dos componentes, preferencialmente, utilizados em projeto. Sendo assim, o módulo transcrito, no sistema modular de referência, deverá estar em função da medida padrão do componente escolhido.

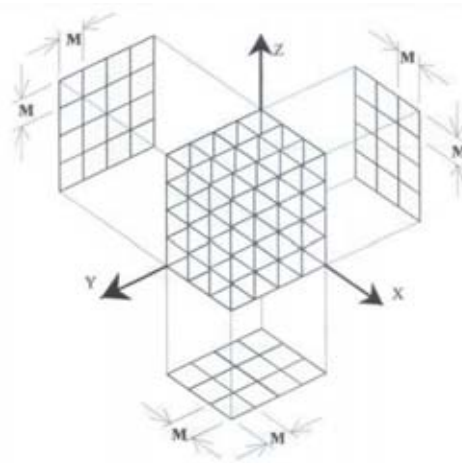


Figura 09: Reticulado modular de referência no centro e sua projeção nos planos xy, zy e zx, definindo os quadriculados modulares de referência.
Fonte: ANDRADE, 2000, p. 18.

Quanto a coordenação dimensional através dos módulos, empregam-se os componentes da construção repetidamente nas diferentes etapas da edificação. Assim, todas as partes são definidas pelo módulo que compõe um sistema regido pela coordenação modular. A flexibilidade desse sistema depende da quantidade de soluções que ele oferece na combinação dos elementos.

Com isso é possível estabelecer uma composição arquitetônica bem articulada com os componentes, de forma a possibilitar que esses sejam racionalmente dispostos e encaixados, adaptando-se a diversas propostas de projeto.

No caso da construção, segundo Andrade (2000), a compatibilização das dimensões, na coordenação dimensional, é fundamentada em uma unidade referencial, cuja função é servir de base para o dimensionamento dos espaços, flexibilizando seu uso em face das diferentes solicitações. Com o emprego do módulo, fica mais fácil associar em projetos os diferentes elementos da construção, formando conjuntos mais coesos e permitindo a redução da variedade de dimensões empregadas nos modelos de componentes.

Dessa forma, a prática da edificação muda, transformando o processo de construção em uma série de procedimentos para a montagem de produtos industrializados, produzidos separadamente e coordenados dimensionalmente,

resultando na eliminação das casualidades e na sistematização de ações que envolvem o processo de produção, sob as condições da racionalização.

Andrade (2000) explica que a coordenação modular, enquanto forma sistemática de se conseguir a integração dimensional entre os componentes padronizados, requer o emprego dos princípios de seleção, correlação e intercambialidade, que estão inter-relacionados e determinam todas as etapas do processo de produção. A seleção reduz a variedade de componentes ao mínimo, de forma a serem mais eficientes ainda na fase de produção. A correlação ocorre na fase de elaboração do projeto e tem como objetivo escolher os valores numéricos utilizados na produção, de modo que haja a correlação dimensional entre os componentes elaborados. Já a intercambialidade, que acontece na fase de montagem, estabelece critérios e normas para os ajustes e tolerâncias.

Mas, o mesmo autor destaca que as medidas dos componentes não devem ser regidas por uma dimensão fixa, sendo possível estabelecer um valor máximo e um valor mínimo admissíveis. Essa variação, entre o referencial teórico de dimensão, adotada no projeto e a medida efetiva de fabricação e montagem dos componentes, é denominada tolerância dimensional.

A tolerância pode ser compreendida também como uma margem admissível que varia entre a medida real de um componente – resultante da medição do componente produzido - em relação à medida nominal – que é a medida teórica estabelecida para a confecção do componente. Essa diferença deve ser respeitada, pois ocorrem variações provocadas por erros de fabricação, dilatações e deformações originadas por fenômenos físico-químicos, posteriores à montagem do elemento.

É justamente a existência dos componentes, em diferentes formatos e escalas, que dificulta a sua aplicação de maneira racional e facilitada. Como não uma obrigatoriedade para a padronização dimensional, cada fabricante estabelece sua própria malha modular de referência, impedindo a compatibilidade de seus produtos com outros sistemas, reduzindo assim, sua flexibilidade de uso.

A indústria da construção compreende duas situações: a que envolve a edificação propriamente dita e a dos materiais de construção subsidiária da primeira. Uma das finalidades da racionalização é a de integrar as duas indústrias, hoje quase independentes. Os componentes da construção, em virtude das características de seus materiais, métodos de produção, de transporte e de armazenagem, apresentam uma variedade de medidas preferenciais para fabricação e utilização dos mesmos. (ROSSO, 1980)

Para maior simplificação, é conveniente selecionar entre as medidas preferíveis aquelas que irão ser aplicadas, de forma mais adequada, a um caso determinado, fixando a medida de um componente, determinando a medida preferencial. Essa escolha se baseia em questões técnicas e econômicas para racionalizar o processo de produção dos componentes, buscando o maior número de soluções possíveis quanto ao seu emprego na construção.

As medidas preferíveis, segundo Andrade (2000), são aquelas que irão ser aplicadas, de forma mais adequada, a um caso determinado, estabelecendo a medida dos componentes para agilizar o processo produtivo, no intuito de facilitar a combinação entre os elementos, aumentando a repetição quando de sua aplicação.

Por isso a necessidade da simplificação do processo, que implica na redução do número de medidas dos componentes da construção, de maneira a facilitar a associação entre eles. Resultando em processo coordenado e contínuo. Assim, para melhorar a capacidade combinatória dos diferentes componentes do sistema é importante que haja o ordenamento das dimensões em função da coordenação modular, composto pelos princípios básicos do sistema de referência, módulo e do ajuste modular.

O sistema de referência situa os componentes da construção no espaço, enquanto que o módulo cria um sistema de unidade de medidas que permite aos componentes se associarem aos do edifício como um todo. E o ajuste modular representa a união racional entre os componentes da construção, estabelecendo uma relação satisfatória com o sistema de referência. (ANDRADE, 2000)

Ou seja, coordenação modular visa a compatibilizar dimensionalmente a solução arquitetônica com os componentes de construção, de maneira a otimizar a execução da obra, transformando-a em tarefa de montagem das partes autônomas.

A utilização da coordenação modular no sistema construtivo facilita a elaboração dos projetos e, principalmente, ordena a posição e dimensão de todos os elementos compositivos da construção. A coordenação permite o uso de escalas dimensionais, que possibilitam a leitura imediata do projeto, sendo aberta à possibilidade do uso de mais de uma malha de referência.

O sistema construtivo alicerçado pela coordenação modular permite a flexibilidade no uso do espaço, respeitando a liberdade projetual para atender as diferentes necessidades dos usuários e oferece vantagens como: redução dos desperdícios; precisão dos detalhes construtivos, redução do consumo de energia na execução da obra; qualidade técnica e construtiva e o aumento da produtividade do processo.

Tendo em vista todos os conceitos expostos até o momento, pretende-se, na elaboração da pesquisa, desenvolver um sistema construtivo do tipo aberto, que como foi citado anteriormente, permite maior flexibilidade nos processos de produção, podendo associar diferentes técnicas construtivas com o uso de elementos pré-fabricados. Para tanto, o material escolhido foi o bambu, pois além de uma matéria-prima renovável, possui um potencial equivalente aos sistemas construtivos convencionais, dadas as suas características construtivas.

Quanto ao sistema estrutural, que possibilita a redistribuição de esforços solicitantes, o mais adequado ao sistema construtivo em lâminas de bambu é o sistema de vetor-ativo, formado pelas treliças de todas as formas e, também, o sistema do tipo seção-ativa, composto por elementos retilíneos, rígidos e sólidos, classificados como elementos estruturais lineares.

Para integrar os componentes produzidos em diferentes soluções de projeto, torna-se necessária a adoção da coordenação modular, que simplifica o processo construtivo e contribui para a redução dos custos e do tempo de execução da obra.

Assim, verificados os conceitos que envolvem o tema sistemas construtivos, o próximo capítulo discorrerá sobre o bambu e suas principais características, bem como, a importância desse material aplicado na construção civil em benefício do meio ambiente.

1.2 BAMBU: A PLANTA

1.2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS

“Bambu é uma palavra de origem malaia, mas seu étimo é considerado impreciso. Admite-se que tenha se originado do neo-árico, língua falada na Índia, Paquistão, Irã, Bengladesh e alguns outros países vizinhos”. (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2006, p.34)

É uma planta da família das gramíneas (*Poaceae*), pertencentes à subfamília *Bambusoideae*, e está entre os componentes mais importantes das florestas tropicais, sendo fundamental para o desenvolvimento econômico e industrial de algumas regiões. De modo geral, as espécies de bambus apresentam folhas lanceoladas e pseudopecioladas, e são atualmente incluídas em dois grandes grupos, as tribos: *Bambuseae* (figura 10a) que correspondem aos bambus lignificados (ou lenhosos) e *Olyreae* (figura 10b) reconhecidos como bambus herbáceos. (OLIVEIRA *et al.*, 2006)

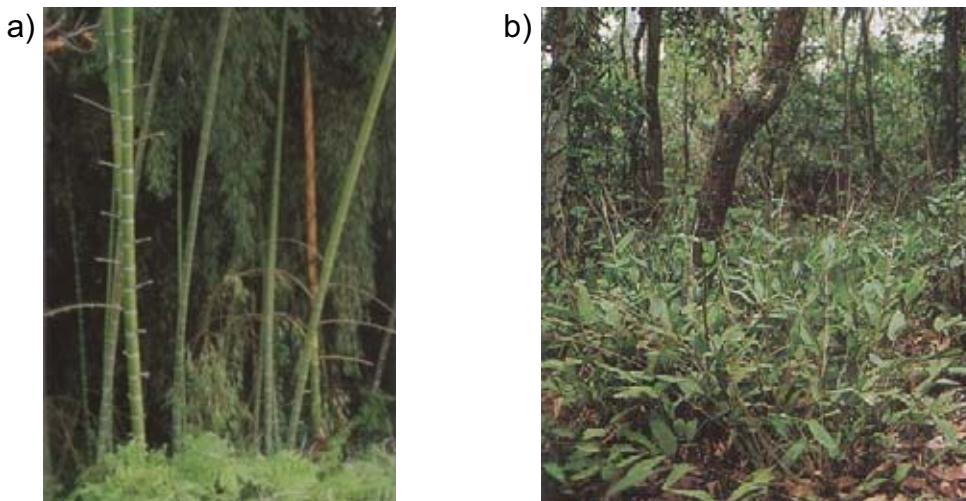


Figura 10: (a) Bambus lignificados da espécie *Guadua angustifolia*, pertencentes à tribo *Bambuseae*.
(b) Bambus herbáceos da espécie *Raddia sp.*, pertencentes à tribo *Olyreae*.
Fonte: JUDZIEWICZ *et. al.*, 1999, p. 243 e p. 308.

De acordo com Oliveira (*apud* GONÇALVES *et al.*, 2006):

Os bambus apresentam características morfológicas, anatômicas, fisiológicas e ecológicas peculiares. As espécies de *Bambuseae* apresentam, como caracteres morfológicos diagnósticos, a ocorrência de sistema subterrâneo rizomatoso bem desenvolvido,

composto de nós e entrenós cobertas por folhas reduzidas denominadas catafilos, colmo [caule] lignificado, folhas dos ramos com lígula externa e lâmina foliar decídua e florescimento cíclico com intervalos, geralmente, longos. As espécies de *Olyreae* caracterizam-se por apresentarem espiguetas unissexuais, rizomas pouco desenvolvidos e por serem geralmente pluricárpicas.

Os bambus são plantas perenes consistindo um sistema de eixos ramificados que formam uma alternância regular de nós e entrenós. Esses eixos segmentados de acordo com sua forma e posição na planta têm os seguintes nomes: colmo ou talo, que com os ramos formam a parte aérea da planta e o sistema de rizomas com as raízes que formam a parte subterrânea da planta e a fundação estrutural. Os rizomas executam importantes funções para a vida da planta; é um órgão vital com qual o bambu se reproduz de forma vegetativa ou assexuada, além da função de armazenar e transportar os nutrientes. Os colmos dependem dos rizomas para seu crescimento, vigor e sua distribuição no solo. (LÓPEZ, 2003)

De acordo com Graça (1988, p.25), entre as principais características dos bambus, destacam-se o “seu crescimento veloz e a altura dos colmos (com exceção dos bambus ornamentais). O caule dessa gigantesca gramínea só cresce em altura, já que não apresenta elementos anatômicos no sentido radial e tangencial, diferente das madeiras”.

Os colmos do bambu não cumprem apenas a função estrutural, segundo Dunkelberg (1985), eles são também órgãos complexos que transportam água e nutrientes da raiz para as pontas das folhas mais distantes e retornam os compostos orgânicos para as raízes. Dentre os nutrientes armazenados nas células dos bambus, estão os polímeros de amido, que atraem insetos, fungos e carunchos nocivos à planta.

Vale ressaltar que a parede da célula do bambu é um sistema complexo que compreende diversos tipos de moléculas, onde a celulose é a mais importante. Devido a essa combinação de várias moléculas (lignina, celulose e hemicelulose), os bambus têm estruturas rígidas, sendo que a quantidade de celulose presente nas células determina sua resistência à tração e curvatura, já a presença de lignina determina a sua resistência à compressão. (DUNKELBERG, 1985)

Os bambus são compostos de fibras de celulose longas e alinhadas, imersas em matriz de lignina (GHAVAMI; MARINHO, 2003). As fibras, conforme a figura 11, constituem de 40 a 50% dos tecidos e contribuem com 60 a 70% do peso total do colmo. (LIESE, 1987)

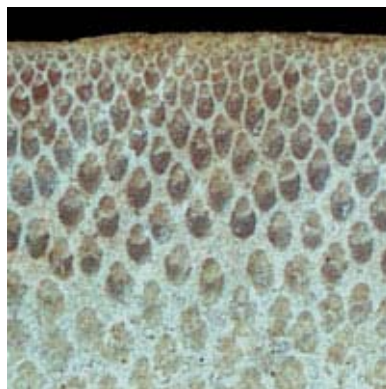


Figura 11: Fibras do bambu.
Fonte: www.conban.de.

As fibras são tecidos muito resistentes e sua principal função é dar força mecânica aos colmos, para suportar as cargas de vento a que são sujeitos durante seu ciclo de vida. O conjunto de fibras cresce, no sentido axial, e constitui camadas alternadas concêntricas; na periferia dos colmos a concentração de fibras é maior, conferindo ao bambu alta rigidez. Por se tratar de um material ortotrópico (com diferentes propriedades mecânicas ao longo de sua constituição), essa alta rigidez corresponde ao sentido longitudinal do colmo, pois no sentido transversal as fibras a resistência é baixa.

Como outra característica, os bambus possuem a habilidade de renovar suas folhas rapidamente, isso mantém sua coloração verde e o constante processo da fotossíntese, logo essa planta é tão eficiente no resgate de CO₂. Segundo López (2003), o período de renovação depende da estação e da espécie dos bambus, nos de grande porte, por exemplo, a renovação acontece, geralmente, na primavera.

Os bambus são classificados em dois grupos principais, divididos em função da parte subterrânea do colmo. São eles: os leptomorfos ou monopodiais que crescem em zonas temperadas e são alastrantes, e os paquimorfos ou simpodiais que crescem em zonas tropicais e são entoucerantes. Existe ainda um subgrupo denominado de metamorfos que são os bambus semi-entoucerantes.

Bambus chamados de leptomorfos ou monopodiais (figura 12) são longos e esguios, e têm as seguintes características associadas: formas cilíndricas ou subcilíndricas, com diâmetro usualmente menor que os colmos que o originam, entrenós, mais longos do que largos, são relativamente uniformes em seu comprimento, simétricos ou praticamente simétricos, raramente, sólidos, sendo predominantemente ocos. São encontrados em regiões temperadas e possuem relativa resistência ao frio, por esse motivo podem ser cultivados em elevadas altitudes mesmo nos trópicos. Neste grupo se encaixam os bambus do gênero *Arundinaria* e *Phyllostachys*. (LÓPEZ, 2003)

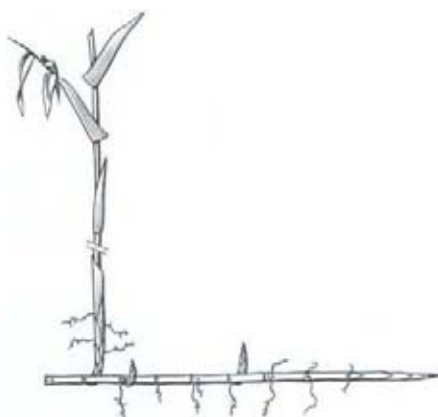


Figura 12: Rizoma leptomorfo.
Fonte: Adaptado de MCCLURE, 1966.

A morfologia e o processo de crescimento dos rizomas paquimorfos ou simpodiais é diferente dos rizomas leptomorfos. A base do colmo não existe na parte subterrânea e a parte aérea é gerada diretamente do rizoma, que nesse caso, pode ser considerado como a base do colmo. Os rizomas paquimorfos (figura 13) são sólidos e seus colmos possuem formas mais ou menos curvas com entrenós mais espessos do que longos. São típicos de zonas tropicais não resistindo a temperaturas frias, podem ser rerepresentados pelos gêneros *Guadua*, *Dendrocalamus* e *Bambusa*. (LÓPEZ, 2003)



Figura 13: Rizoma paquimorfo.
Fonte: MCCLURE, 1966, p. 21.

E o subgrupo conhecido como metamorfos (figura 14), que são semi-entoucerantes, é a combinação dos dois principais grupos. López (2003) descreve que se incluem neste grupo intermediário: as espécies que possuem os rizomas paquimorfos e leptomorfos na mesma planta, representados nas Américas pela espécie *Chusquea fendleri*.

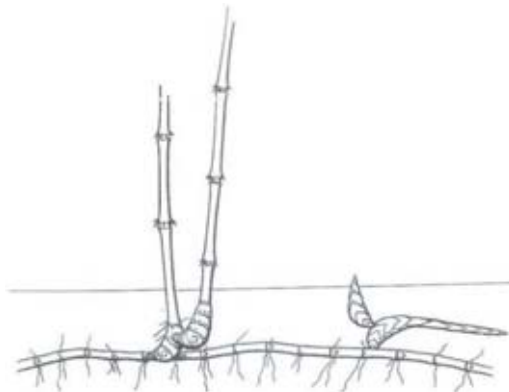


Figura 14: Rizoma metamorfo.
Fonte: Adaptado de MCCLURE, 1966.

Sobre o ciclo de vida dos bambus, Dunkelberg (1985) explica que os bambus morrem pouco tempo depois da floração e da produção de frutos, pois nesse processo os rizomas ficam exaustos pela energia despendida e morrem. Em muitas espécies, o seu ciclo de vida é determinado pelo período de floração, que pode ser maior do que cem anos, embora, em alguns casos, os bambus podem continuar a florescer sem morrer. Em espécies de pequeno porte, esse período se reduz em média para cinco anos.

López (1978) divide a floração dos bambus em dois tipos: em sincrônica e em esporádica. Na floração sincrônica, todos os indivíduos de uma mesma espécie, tanto jovens quanto os adultos, florescem simultaneamente em uma mesma região. Esse processo pode levar de 12 a 18 meses onde todas as folhas caem dando lugar as flores. Após esse período, os colmos acabam morrendo, o que pode apresentar grandes prejuízos caso a plantação tenha algum valor econômico.

Já a floração esporádica acontece apenas em alguns indivíduos (colmos) isolados ou vários indivíduos de um mesmo grupo ou de vários grupos. As folhas também caem totalmente dando lugar as flores (figura 15), onde os colmos também acabam morrendo. Porém, em ciclos curtos de floração e quando aparecem poucas flores, os colmos dos bambus se recuperam rapidamente evitando sua morte. A floração esporádica pode ser causada por influências fisiológicas e algumas vezes no verão ou por secas muito prolongadas.



Figura 15: Flores do bambu.
Fonte: DUNKELBERG, 1985, p.64.

Após o período de floração, ocorre o amadurecimento das sementes que pode originar dois tipos de frutos: ou são pequenos de forma alongada e fina, parecidos com grãos de cereais, ou são semelhantes a uma pêra (figura 16), considerando seu tamanho, forma e consistência, mas contém apenas uma semente. As frutas do bambu são comestíveis, mas os bambus com frutos maduros são incomuns e a maioria cai no chão após o amadurecimento (DUNKELBERG, 1985)

McClure (1966) observa que apenas 1% das sementes plantadas são germinadas, evidenciando a dificuldade em conseguir novas plantas a partir de sementes.



Figura 16: Fruto do bambu semelhante à pêra.
Fonte: LIESE, 2006, p.07.

1.2.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

No mundo, todos os bambus estão distribuídos em diferentes latitudes e altitudes de acordo com sua espécie. Geograficamente, são encontrados em todos os continentes, com exceção da Europa como mostra a figura 17. A Austrália e a África são os continentes com o menor número de espécies e conforme Filgueiras e Gonçalves (2004) o Brasil é o país com a maior diversidade na América Latina, com bambus nativos e exóticos plenamente adaptados ao nosso território.

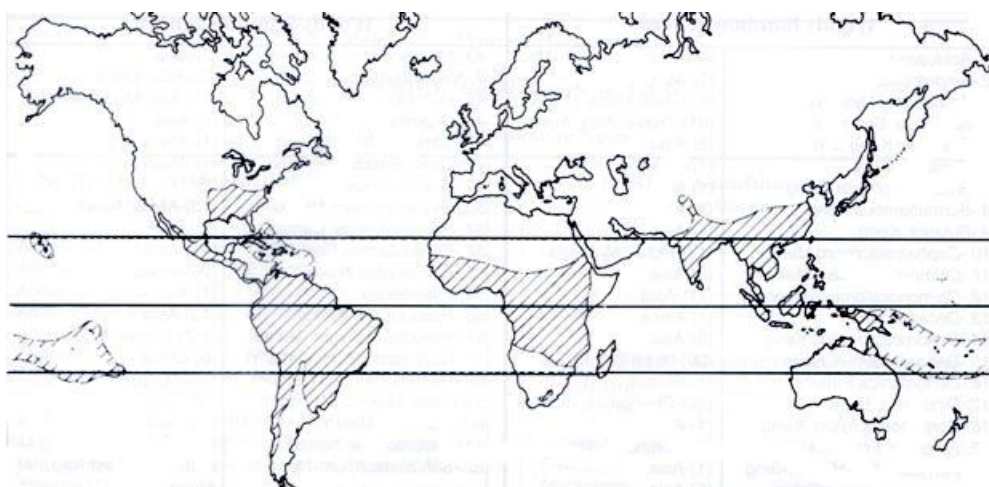


Figura 17: Distribuição geográfica original dos bambus no mundo, antes de 1960.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p.33.

López (2003) observou que os bambus são encontrados em regiões de climas tropicais, subtropicais e temperados. A distribuição aproximada de ocorrência de espécies entre os continentes é de 67% na Ásia e Oceania, 3% na África e de 30% nas Américas. É possível que esta planta seja de origem asiática, pois a maior porcentagem de todas as espécies conhecidas é encontrada nesse continente.

Porém, essa disponibilidade em locais de grande atividade agrícola tem sido um fator desfavorável para algumas espécies de bambu. O baixo prestígio dado à planta e o seu corte intensivo sem controle algum, têm levado à substituição dessa cultura, por outras ditas mais rentáveis, em muitas regiões, levando a total eliminação das espécies mais valiosas, como exemplifica López (1978), com a *Bambusa oculata* em partes da América Central e em grandes extensões da Colômbia e com a espécie *Bambusa guadua* substituídas pelas culturas de banana, cana-de-açúcar e café.

O bambu tem aproximadamente 70 gêneros e 1.200 espécies distribuídas entre zonas tropicais, temperadas e áridas, mas a maioria se concentra entre as zonas tropicais e temperadas, principalmente na Ásia. Atualmente, os bambus ocupam no mundo uma área que ultrapassa 220.000 km², o equivalente a 1% das áreas florestais, e esta área tem aumentado progressivamente cerca de 3 a 4 vezes a cada ano. A China reúne 40 gêneros e 500 espécies de bambu, traduzidos em 25% do total existente no mundo, e nos últimos anos esse número tem aumentado de 7 a 8%. (INBAR, 2004)

No Brasil, as espécies mais comuns, entre os bambus exóticos são, conforme Graça (1988), a *Bambusa vulgaris* (bambu-verde), *Bambusa vulgaris* variedade *vittata* (bambu amarelo ou imperial), *Bambusa tuldoides* (bambu comum), *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante ou bambu balde) e algumas espécies de *Phyllostachys*, conhecido vulgarmente por bambu-chinês ou japonês. Todas as espécies são originários da Ásia e foram trazidas para o Brasil pelos imigrantes asiáticos e portugueses, as plantas se adequaram bem ao país, expandindo-se facilmente. Entre as espécies nativas o gênero *guadua sp.* se destaca em âmbito nacional.

Filgueiras e Gonçalves (2004) apresentam uma relação com 38 gêneros e 232 espécies nativas de bambu no Brasil e destacam dados sobre endemismo e distribuição geográfica das espécies por grandes biomas como o da Mata Atlântica (65%), Amazônia (26%) e Cerrado (9%).

No sudoeste da Amazônia, que compreende parte dos territórios do Brasil, Peru e Bolívia, Nelson e Kalliola (*apud* SILVEIRA, 2001), em dados não publicados, estimaram através de imagens obtidas, via satélite, no ano de 1994, que a área ocupada pela floresta de bambu compreendia 180.000 km².

Em 2004, com base na interpretação visual de imagens obtidas também via satélite, esse valor se situou em 161.000km², já descontadas as áreas desmatadas, conforme a figura 18. (NELSON, *et. al.*, 2006)

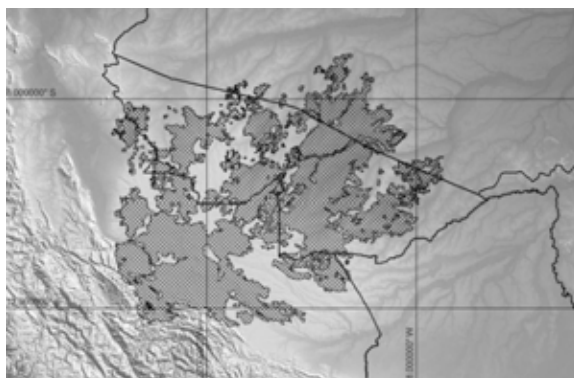


Figura 18: Extensão das florestas do gênero *Guadua*, no sudoeste da Amazônia, excluindo áreas desmatadas até 2004.

Fonte: Bianchini (*apud* NELSON, *et. al.*, 2006).

1.2.3 O CULTIVO DO BAMBU

No Brasil, onde predominam os climas tropical e subtropical, o bambu encontra excelentes condições para desenvolver-se mais rapidamente que o eucalipto e o pinheiro. Cresce, tanto em regiões ao nível do mar, em regiões tropicais, como em altitudes de aproximadamente 1.300 metros e em regiões montanhosas. (GRAÇA, 1988)

Devido à velocidade de seu crescimento, o bambu necessita de água e nutrientes, por isso Graça (1988) destaca que as chuvas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da planta e devem ser em média equivalentes a 1.200 a 1.800mm por ano, pois o alto teor de umidade fornece as condições básicas que essa cultura precisa para seu crescimento. É uma planta que se adapta bem em quase todos os tipos de solo, embora sejam mais indicados os solos férteis, bem drenados, que sejam leves e arenosos.

O crescimento do bambu é o mais rápido de todas as espécies do reino vegetal. Em condições normais, na época de maior desenvolvimento, seu crescimento pode atingir em 24 horas entre 8 e 10cm, em alguns casos como acontece com a espécie *Dendrocalamus giganteus*, a planta pode chegar a 40cm em um dia. (LÓPEZ, 1978)

Para as espécies entoucerantes, recomenda-se o plantio em épocas chuvosas. Já para os tipos alastrantes de bambu o indicado são os períodos mais secos do ano. Como os colmos do bambu brotam assexuadamente todos os anos, seu crescimento é rápido, diminuindo assim, o tempo de corte.

Graça (1988) propõe alguns métodos principais para o cultivo do bambu, que podem ser por divisão de touceiras, corte e arrancamento dos rizomas ou caules subterrâneos ou ainda por sementes.

A mesma autora afirma que, segundo os especialistas, o primeiro método é considerado o mais comum e eficaz. Nele, são cortados os caules acima do segundo ou terceiro nó, tendo como referência a base do colmo, gerando de três a cinco hastes iniciais.

No método de corte ou arrancamento dos caules subterrâneos, retira-se, com cuidado o broto com um pedaço de rizoma junto com uma pequena quantidade de raízes, esta muda é indicada para plantios em lugares distantes, que precisam ser transportadas.

No terceiro método, a propagação sexuada é feita através de sementes resultantes de uma floração, mas como o bambu apresenta um ciclo de floração com

intervalos geralmente longos, esse método não é comum. Ou ainda, pode ser vegetativa utilizando partes da planta, como os rizomas, talos que contenham gemas desenvolvidas ou a parte basal dos ramos, que posteriormente devem ser introduzidos, no solo, deitados ou em posição oblíqua, conforme a figura 19.

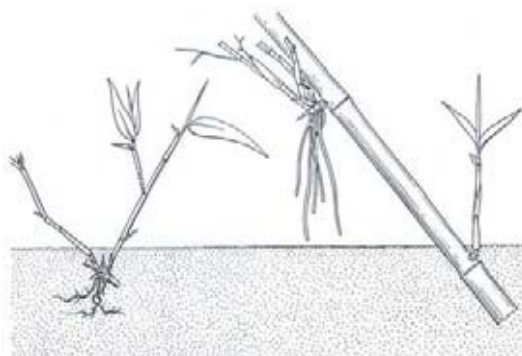


FIGURA 19: Propagação vegetativa utilizando partes do bambu.
Fonte: MCCLURE, 1966, p.257.

Em relação ao espaçamento entre as plantas, deve-se levar em conta a finalidade do cultivo e a espécie. Salgado e Godoy Jr. (2002) recomendam o plantio em covas distanciadas de 7m x 5m para o cultivo de espécies destinadas à produção de brotos, artesanato e construção. Nos terrenos em declives e irregulares, o plantio deve ser feito em curvas de nível, contribuindo para o controle da erosão em épocas chuvosas.

Villegas (2001) afirma que recentes pesquisas para uma fácil e econômica propagação do bambu, em laboratório, estão utilizando o método *in vitro* (figura 20) para assegurar o reflorestamento do bambu e garantir seu potencial para arquitetura, fabricação de papel, entre outros.



Figura 20: Diferentes tamanhos de brotos de bambu cultivados pelo método *in vitro*.
Fonte: VILLEGAS, 2001, p. 36.

Esse método é feito por propagação vegetativa e é realizado nos laboratórios sob circunstâncias assépticas. O primeiro passo é retirar uma gema de um ramo lateral do bambu que contenha as propriedades desejadas e plantá-lo em um pequeno recipiente com um suplemento gelatinoso à base de fitohormônios, vitaminas e minerais para estimular o crescimento. Ao semear essas gemas em meio adequado, os tecidos da planta são formados, originando as primeiras folhas, rizomas e hastes. Este é um dos principais modos de se obter mais plantas ou clones com as características desejadas.

Nesse caso, as mudas são encubadas sob condições controladas de luz e temperatura, em 1.500 lux e 25 a 27°C, por dois meses. Após este período, elas são classificadas e transferidas para os sacos plásticos, contendo substrato composto por uma porção de areia, uma porção de matéria orgânica e uma porção de terra preta onde ficam por duas semanas cobertos por plásticos transparentes. Durante esse período, é importante regar abundantemente as plantas para diminuir a temperatura onde são mantidas *in vitro*.

Uma vez transplantadas para o solo, as mudas dão origem entre três e cinco brotos com crescimento radial ou periférico. A finalidade desse processo é obter rapidamente o maior número de plantas sadias. Se cada gema forma, em média duas ou três novas gemas, com um cálculo matemático, a produção poderia chegar a um total de 16.384 plantas em quatorze meses. Ao imaginar que, para cada hectare de terra são necessárias aproximadamente 700 plantas, estar-se-ia, então, recriando com esse método densas florestas de bambu. (VILLEGAS, 2001)

No que se refere à fertilidade, o bambu se prolifera gerando novas plantas mesmo depois de cortado, isso auxilia na sua propagação e torna essa planta um excelente agente no combate à erosão. E mais, as plantações de bambu não precisam de fertilizantes ou agrotóxicos, sendo facilmente cultivadas sem agredir o meio-ambiente, já que necessitam de poucos cuidados e só dependem do homem para o corte e remoção de colmos velhos.

Quanto à produção, esta é bastante variável, depende da espécie, solo, clima e tratos culturais, mas podem chegar de 10 a 100 toneladas por hectare/ano em cortes arrasantes e de 2 a 5 toneladas por hectare/ano para cortes seletivos.

A fim de atingir algumas expectativas no cultivo do bambu, isto é, rápido crescimento, alta qualidade, rendimento e força, López (2003) ressalta que é necessário selecionar as espécies que melhor se adaptem, física e economicamente, às circunstâncias do ambiente de cultivo, ou ainda, escolher o melhor clima, solo e topografia para as diferentes espécies de bambus. Ou seja, selecionar as espécies apropriadas para cada local.

GRAÇA (1988, p.33) observa que:

Segundo a afirmação de alguns especialistas, o plantio do bambu na realidade, não depende muito da maneira de plantá-lo e dos cuidados posteriores para o seu sucesso, mas principalmente do modo de preparar a muda. A muda, para fornecer uma planta forte, deverá ter caule vigoroso, bem enraizado e boa qualidade de raízes.

Em contrapartida, López (1978) coloca que o cultivo do bambu é igual a qualquer outra cultura e, portanto, requer os mesmos cuidados de limpeza, cultivo e boa manutenção. Por exemplo, na limpeza, que facilita o trabalho de extração dos colmos, devem ser retiradas as plantas que estejam caídas, quebradas ou dobradas, bem como, os colmos muito velhos e secos e também os doentes ou deformados. Alguns acreditam que não tocar nos bambuais é a melhor forma de preservá-los, mas ao contrário disso, os cortes e limpeza periódicos dos bambuais de maneira correta, mantêm a atividade das plantas.

1.2.4 CONSERVAÇÃO E IMUNIZAÇÃO DO BAMBU

O processo de conservação do colmo do bambu visa a garantir a qualidade, durabilidade e sua disponibilidade para utilização nos mais diversos fins, a maioria das desvantagens, no uso do bambu, podem ser eliminadas na aplicação de técnicas adequadas de preservação.

Azzini e Salgado (1994) sobre a conservação do bambu argumentam que este processo começa no momento de sua colheita, na escolha dos colmos a serem cortados, seguindo pela maturação, secagem, imunização e utilização de técnicas de conservação.

Os colmos devem ser cortados quando a planta atinge amadurecimento total (entre 3 e 6 anos), antes deste período eles são frágeis e pouco resistentes. É possível reconhecer as plantas com idade superior a 3 anos pela presença de manchas brancas nos colmos, que quanto mais definidas e brancas, mais adulto é o bambu, a figura 21 a seguir ilustra esta afirmação.



Figura 21: Presença de manchas brancas contidas em colmos maduros.
Fonte: PEREIRA; BERHALDO, 2007, p.87.

Lengen (2004) diz que o ideal é cortá-los em épocas frias do ano, quando há menos insetos e na lua minguante, embora não existam estudos comprovando a eficácia deste método. O corte deve ser feito a uns 20cm do solo e antes de um nó, para evitar a retenção de água nos colmos que hospedam insetos e apodrecem as plantas. Recomenda-se ainda o uso de serrotes ou moto-serra no corte dos colmos, tomando sempre o cuidado para não fissurar as peças.

A colheita do tipo arrasante (em que todos os colmos são cortados) é a mais comum, mas Dunkelberg (1985) explica que este método é pouco econômico ao produtor do bambu, pois em muitos casos os bambus não são replantados, acabando totalmente com a produção. Por isso a colheita seletiva é a mais indicada, retirando apenas alguns colmos da plantação de acordo com a idade e finalidade de uso.

Uma vez cortados, inicia-se o processo de maturação ou cura das peças, para torná-las resistentes ao ataque de insetos, atraídos pelo amido contido nos colmos. Os insetos mais comuns encontrados nas Américas e que comprometem a durabilidade e resistência dos bambus são, segundo López (1978): o caruncho (*Dinoderus minutus* F.) que ataca os colmos dos bambus cortados e a broca do bambu (*Rhinastus latisternus* C.), vistos nas figuras 22 (a) e (b) a seguir:

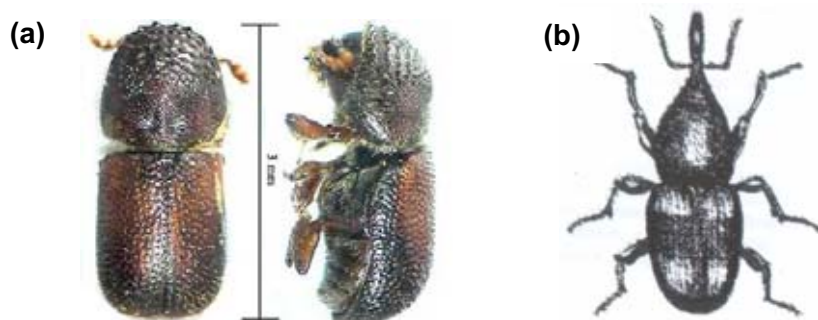


Figura 22: (a) *Dinoderus minutus* F. e (b) *Rhinastus latisternus* C..
Fonte: (a) LIESE, 1998, p.25 e (b) SANTOS *et. al.*, 1986, p.15.

Azzini e Salgado (1994) propõem três métodos de maturação para o bambu:

a) Maturação na mata: Consiste em colocar os colmos cortados encostados, o mais verticalmente possível, nos colmos não cortados, sem remover os ramos e folhas e mantidos isolados do solo, colocando-os sobre pedras ou outro tipo de suporte. Assim deve permanecer de 4 a 8 semanas, variando com as condições do tempo para que haja total eliminação da seiva. Esse sistema preserva a coloração natural, não causa rachaduras e impede o ataque de fungos.

b) Maturação por imersão: Consiste em submergir os colmos em água por mais de 4 semanas, no entanto, esse sistema causa a aparição de manchas causadas por fungos e rachaduras em número maior ao sistema anterior.

c) Maturação por aquecimento: Consiste em colocar o colmo de bambu, depois de cortado, sobre fogo aberto, rodando-o, sem queimá-lo, a fim de matar qualquer inseto que se encontre em seu interior. Esse sistema serve também para acelerar a secagem e acertar os colmos tortos.

Após esse processo de maturação, é necessário promover a secagem do material no intuito de reduzir as variações dimensionais provocada pela água contida nas peças, diminuindo assim os riscos de fissuração. A perda de água deixa os

bambus mais leves, facilitando o transporte e manuseio. As peças secas possuem outras vantagens: com a umidade inferior a 15% os insetos nocivos ao bambu não sobrevivem; os adesivos e acabamentos são melhores aplicados e há ainda um aumento da resistência física e mecânica dos colmos.

Os métodos tradicionais de secagem são descritos por Lengen (2004):

a) Ao ar livre: Os bambus devem ficar por dois meses em lugar ventilado, protegidos do sol e da chuva, dispostos em camadas alternadas e separadas umas das outras por colmos ou troncos grossos, conforme a figura a seguir:

b) Com fogo: Em dias nublados, pode-se utilizar esse método para secar os bambus rapidamente. Primeiramente faz-se uma cavidade no solo, pouco profunda, e depois ela é revestida com tijolos para não haver perda de calor. Os bambus devem ser colocados a 50 cm acima do fogo, para que sequem de maneira uniforme, virando-os de vez em quando. Com esse método, os riscos de rachaduras são reduzidos e as paredes dos colmos ficam mais resistentes aos insetos. Mas o autor alerta que é preciso tomar cuidado, pois um fogo não controlado pode abrir ou deformar os bambus.

c) Ar quente: É um método rápido de secagem. Constrói-se um armazém com um aquecedor solar de ar. O autor explica que o aquecedor pode ser construído com blocos, latas pintadas de negro e vidro ou plástico de garrafas *pet*, como pode ser observado na figura 23. Este armazém deve ter paredes isolantes, que podem ser fabricadas com placas das fibras da casca do côco, para que o calor não escape durante a noite. Azzini e Salgado (1994) argumentam que esse método pode ser muito eficiente, porém muito mais caro que os demais, pela necessidade da instalação de equipamentos, que seria justificado no caso de uma secagem em grande escala.

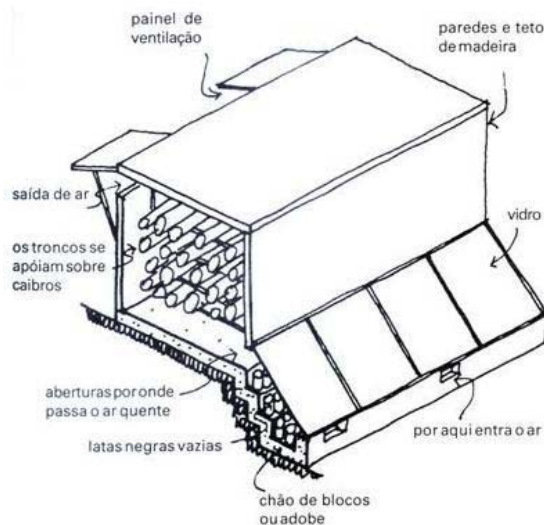


Figura 23: Armazém com aquecedor solar para secagem dos bambus.
 Fonte: LENGEN, 2004, p.337.

Para finalizar o processo de secagem, os bambus devem ser armazenados em local bem ventilado, protegidos da chuva e insolação. Os colmos devem estar sobrepostos em camadas alternadas, afastadas entre si, de maneira que permita a passagem de vento entre elas e isolados do chão a uma altura de no mínimo 50cm. Assim deverão permanecer por cerca de 50 dias, dependendo das condições climáticas, até que fiquem totalmente secos. É importante organizá-los de maneira que seja possível a inspeção de cada colmo individualmente, verificando a presença de insetos ou manchas que danifiquem as varas. A tabela 01 apresenta o tempo médio de secagem dos colmos dependendo da época do ano:

Tabela 01: Tempo de secagem dos colmos de bambu.

	Época úmida	Época seca
Estacas roliças	2 ½ a 3 meses	1 ½ a 2 meses
Estacas cortadas no sentido longitudinal	cerca de 1 mês	cerca de 15 dias

(Fonte: GRAÇA, 1988, p.48)

Após a secagem do material, é preciso proteger os bambus do ataque de fungos, insetos e do apodrecimento com a finalidade de garantir a sua durabilidade. Entre os produtos conservantes empregados, na imunização, há dois tipos: os óleos e os sais (AZZINI; SALGADO, 1994)

Os óleos são empregados nos bambus que vão entrar em contato com a água do solo. São altamente tóxicos às pragas, insolúveis em água, têm baixa

volatilidade e são facilmente aplicados. Mas, apresentam algumas desvantagens: como o cheiro forte e desagradável; coloração escura que impede a pintura dos bambus após aplicação e são inflamáveis. Os mais utilizados são: o creosoto, o pentaclorofenol, o naftanato de cobre e o neutrol.

Já os sais, solúveis em água, são mais utilizados em bambus que vão permanecer livres das intempéries. Estes produtos não têm odor desagradável, permitindo a pintura após a aplicação, porém como são laváveis, não podem ser aplicados nos casos em que os bambus entrarão em contato com a água do solo. Os principais produtos são: os cromatos de zinco e de cobre e os sais à base de boro.

Esses produtos químicos são utilizados para proteger os bambus do apodrecimento e do ataque de fungos e insetos. É importante mencionar que existem vários métodos de imunização, entretanto os mais correntes, aqueles que utilizam produtos químicos são, por exemplo, o por transpiração, o método Boucherie (substituição da seiva), por imersão e aplicação externa.

a) O método por transpiração: Os colmos recém-cortados devem ser imediatamente colocados em pé em barris contendo a solução preservativa. As folhas, que não devem ser retiradas, bombearão a solução, devido ao processo de transpiração. Depois de uma ou duas semanas a solução preservativa deve atingir o topo alterando a coloração das folhas. Após essa etapa, é preciso colocar os bambus em barris vazios para retirar o excesso de preservativo dos colmos. (JANSSEN, 1995)

b) Método Boucherie: Para este método, coloca-se na extremidade do colmo do bambu, do qual se eliminou previamente os ramos e folhas, um tubo de borracha ou pedaço de câmara de ar, que se enche com o conservante fechando-se, então, a extremidade superior. Uma vez feita essa operação, dispõe-se o bambu verticalmente ou inclinado de tal forma que o conservante colocado, na parte superior, penetre em seu interior por pressão hidrostática. O conservante empurra a seiva ocupando assim o seu lugar, esse método pode ser observado na figura 24. (AZZINI; SALGADO, 1994)



Figura 24: Método Boucherie para o tratamento dos bambus.
Fonte: www.bambutico.com.

c) Por imersão: Consiste em submergir, total ou parcialmente as peças de bambu num depósito com uma solução preservativa. A eficiência deste tratamento depende do maior tempo que esse possa permanecer submerso. (BARBOSA; INO, 2006)

Esse método por imersão, segundo Azzini e Salgado (1994) pode ser de duas formas: por banho frio, onde os colmos devem submergir, completamente, durante 5 dias, em uma mistura de 5% de pentaclorofenol e óleo diesel. Mas, na retirada dos colmos da solução, deve-se tomar cuidado de incliná-los para retirar o excesso da substância. E a imersão por banho quente, em que os bambus são mergulhados por uma hora numa solução de 5% de pentaclorofenol, aquecida a 93°C. Após esse período, passa-se rapidamente para uma solução fria de 5% de pentaclorofenol, onde devem permanecer por 12 horas.

Para os bambus que irão permanecer parcial ou totalmente enterrados, como em tubulações, postes e etc., aplica-se este tratamento com o uso do creosoto, em que os bambus ficam na vertical em tambores contendo a substância a uma altura adequada. Os colmos devem ficar submersos, por pelo menos 6 horas, e a temperatura deve variar entre 110 e 115°C. Depois deste banho quente, devem passar para um banho frio (32 a 38 °C) por 2 horas. (SALGADO; GODOY Jr., 2002)

d) Aplicação externa: consiste na aplicação da solução preservativa sobre a superfície externa do colmo. Devido à parede externa do bambu ser praticamente impermeável, a penetração do produto é mínima, portanto o tratamento externo é pouco recomendado.

1.2.5 ASPECTOS AMBIENTAIS

Sustentabilidade é a capacidade de responder de forma positiva aos desafios ambientais da coletividade, promovendo o equilíbrio entre os três pontos de desenvolvimento da sociedade, o econômico, o social e o ambiental, de modo que esses três conceitos se relacionem harmoniosamente.

Segundo Sjöstrom (1996), este conceito pode ser definido ainda, como uma forma de desenvolvimento econômico, que emprega os recursos naturais e o meio ambiente não apenas em benefício presente, mas também das gerações futuras.

Nesses últimos anos, o capitalismo tem agravado as disparidades sociais entre a população e contribuído, também, para o esgotamento dos bens naturais, para a destruição da biodiversidade e a poluição do planeta. O crescente desmatamento evidencia a necessidade da busca por materiais renováveis e soluções capazes de amenizar, pelo menos em parte, esses acontecimentos. Os processos industriais e os modos de produção vigentes estão sofrendo cada vez mais com as pressões ambientais, que estão se tornando uma prioridade mundial, neste século XXI. As discussões em torno desse tema apontam as exigências do meio-ambiente por tecnologias limpas e modelos sustentáveis de produção e consumo, para assim, garantir a nossa própria sobrevivência.

Alves (2006, p.13) ressalta que:

Com o despertar da consciência ecológica, o uso de materiais não convencionais na construção civil passou a ser prioridade nos países desenvolvidos. Esta consciência tem sido difundida em congressos específicos que têm tratado deste tema com muita profundidade. A construção civil tem passado por grandes transformações com o uso de materiais e componentes não convencionais geralmente reciclados. Estas mudanças são fundamentais para um desenvolvimento sustentável.

De fato, o conceito de sustentabilidade está atraindo cada vez mais os olhares da sociedade e certamente deverá atingir maiores proporções englobando todas as áreas de produção, consumo e a população como um todo, equilibrando as atividades necessárias (econômicas, ambientais e sociais) para a sobrevivência do homem no seu meio.

Os materiais industrializados mobilizam vastos recursos financeiros, consomem uma enorme quantidade de energia e requerem um processo de industrialização centralizado. Neste sentido, Ghavami (2006) enfatiza que os materiais ecológicos satisfaçam algumas exigências fundamentais, tais como: a minimização do consumo de energia, a conservação dos recursos naturais, a redução da poluição e a manutenção de um ambiente saudável.

Compartilha da mesma opinião Alves (2006), dizendo que a nossa sociedade deve colocar como meta principal o desenvolvimento da construção menos agressiva ao meio ambiente, utilizando materiais reciclados, evitando o consumo de energia e extração de matéria prima para produzir materiais de construção.

Na tabela 02, Ghavami (1990) compara o bambu com outros materiais, de acordo com a energia necessária à produção de cada material, demonstrando que o bambu precisa de 50 vezes menos energia que o aço para ser produzido.

Tabela 02: Relação entre a energia gasta para produção por unidade de tensão.

Material	Bambu	Madeira	Concreto	Aço
MJ/ m ³ / MPa	30	80	240	1500

(Fonte: GHAVAMI, 1990, p.151)

A tecnologia dos países industrializados não é compatível com as necessidades básicas do ser humano, pois é altamente consumidora de recursos materiais e energéticos. Evidenciando a necessidade de mudanças, inclusive no enfoque do “serviço da ciência” para a sociedade, onde transformações culturais, sociais e políticas ocorram para implantar condições para uma produção com recursos locais e participação direta da comunidade, sem a relação de hierarquia que caracteriza a chamada ‘tecnologia de ponta’. (SCHUMACHER *apud* CASAGRANDE, 2006)

Segundo uma pesquisa realizada pelo Departamento de Engenharia de Construção da Escola Politécnica da USP, publicada em 2001, pela revista HABITARE, aponta que a construção civil desperdiça em média 56% do cimento, 44% da areia, 30% do gesso, 27% dos condutores e 15% dos tubos de PVC e

eletrodutos. Os percentuais correspondem à diferença entre a quantidade de material previsto no orçamento e o que efetivamente é usado na obra.

A pesquisa afirma, ainda, que nos países do hemisfério norte, onde a matéria-prima e a mão-de-obra são mais caras, o combate ao desperdício e a preocupação de reduzir ao máximo os impactos ambientais da construção civil - que responde pelo uso de 40% de todas as matérias-primas, 60% da madeira extraída, 40% da energia consumida e 16% da água potável - justificaram o aparecimento do “*greenbuilding*”¹. Alguns escritórios de engenharia no Brasil já descobriram as vantagens da construção sustentável e estão introduzindo, na paisagem das cidades, uma nova geração de casas e edifícios inteligentes.

Mas, a construção sustentável que deveria ser uma prática corriqueira no processo da elaboração dos projetos, ainda enfrenta a desinformação dos profissionais. O professor do curso de arquitetura do Anhembi Morumbi, José Henrique Seraphim (2005), explica que o problema está na maioria dos arquitetos que não tem consciência nem formação necessária para se preocupar com o meio ambiente, uma vez que, não existem dificuldades em praticar a arquitetura sustentável, basta privilegiar materiais que estejam ao seu dispor de maneira equilibrada.

Existe ainda a falta de investimento do governo, principalmente, em pesquisa e em políticas públicas, pois as iniciativas partem, na maioria das vezes, dos núcleos universitários e empresas privadas. Entretanto, as atividades paralelas impedem que os profissionais trabalhem em condições ideais para o desenvolvimento de novas soluções. Como não conseguem se dedicar integralmente às pesquisas e testes, até por questões financeiras, os estudos acontecem, paralelamente, a outras atividades, dificultando a descoberta de novas tecnologias e até sua disponibilização no mercado.

Em contrapartida, é possível perceber que um novo cenário aponta para o uso dos materiais que proporcionam opções tecnológicas sustentáveis. Assim, o bambu, que é um material versátil, responde a essa demanda. Levando em conta os

¹ *Greenbuilding*: Edifício verde, nomenclatura utilizada para definir edifícios ecológicos.

estudos existentes sobre seu potencial, pode-se afirmar que o bambu apresenta características ideais para diferentes aplicações em construção civil.

Segundo Silva (2002), o bambu tem sido considerado uma planta mágica do ponto de vista da sustentabilidade. É com ele que se obtém a maior rapidez e produtividade de biomassa, quando comparado com qualquer outra espécie florestal (em ha/ano). Sendo o bambu uma das plantas de maior eficiência no resgate de CO₂, ele pode contribuir significativamente para diminuição do efeito estufa.

O mesmo autor completa afirmando que o bambu ainda se presta à grande diversidade de serviços ambientais, como a recuperação de áreas degradadas, ao controle da erosão e do assoreamento de rios, ao enriquecimento físico e químico de solos, entre outros.

As folhas do bambu, ao caírem, formam uma camada que mantém a umidade do solo e impede a incidência direta dos raios solares, protegendo as raízes superficiais e ainda repõem a sílica do solo, substância de difícil reposição e que é essencial para o bambu. (SALGADO; GODOY Jr., 2002)

Pauli (apud PEREIRA, 2001) acrescenta que o bambu fixa carbono, convertendo-o através da fotossíntese em celulose, hemicelulose e lignina, com crescimento e colheitas rápidas, fibras longas e fortes e elevada resistência mecânica com um mínimo de gasto energético, tendo ainda, a possibilidade de se desenvolver todo um conglomerado industrial a partir de seu uso.

Estudos de quantificação, quanto ao resgate de carbono, realizado no Japão, determinaram níveis de captura de carbono atmosférico de 1,75 toneladas por ha/ano, apresentando muita eficiência no combate ao aquecimento global quando comparado com as espécies de coníferas de rápido crescimento naquele país. (ROASIO *et al.*, 2003)

Vale lembrar que, conforme Salgado (2006), o corte dos colmos do bambu não prejudica a floresta, pois dentro de pouco tempo ele se recupera permitindo colheitas seletivas anuais ou de corte raso total entre 3 e 5 anos, contra 10 a 20

anos na maioria das árvores. Além de tolerar períodos de seca mantendo seu desenvolvimento e bom aspecto.

Algumas razões, como sua fácil propagação, renovação e um período curto de produção, permitem a viabilidade da utilização desse insumo. Ainda pode ser apontada a disponibilidade de espécies nativas ou cultivadas de bambus, praticamente no mundo todo, baixo peso específico o que facilita o transporte e manuseio e, sobretudo, a sua baixa energia de produção em relação a outros materiais de construção, características essas favoráveis ao uso do bambu nesse setor econômico.

Uma das principais causas da falta de uso do bambu no Brasil, além da questão educacional que não inclui o bambu nos currículos escolares como uma matéria-prima a ser estudada e explorada, é também a oferta de madeiras, que até o momento, supriu as necessidades da população. Com a ameaça de devastação das florestas e, em especial, da Mata Amazônica, o bambu surge como uma alternativa para a madeira, em usos como construções. (SILVA, 2002)

Almeida (*apud* TEIXEIRA, 2006, p.77), diz a este respeito que:

A subutilização do bambu é ainda mais gritante se levarmos em conta a sua potencialidade, a diversificação das espécies existentes no Brasil, as condições ambientais que este país oferece ao seu cultivo e, sobretudo, a capacidade tecnológica dos nossos profissionais e das nossas instituições que atuam na área da construção civil.

Observa, ainda, Casagrande (2006) que a dificuldade na aceitação de tecnologias e materiais não convencionais, que sejam também ecoeficientes por parte da atual sociedade industrial, passa não somente pela necessidade de uma mudança de hábitos de consumo, mas também de valores e princípios.

Todavia, Silva (2002, p.04) alerta que:

O sub-aproveitamento desse recurso natural não deve ser encarado negativamente, mas como uma poupança involuntária, ou seja, como uma grande oportunidade que hoje se descortina nas possibilidades de seus múltiplos aproveitamentos para a geração de riquezas, de postos de trabalho e de renda, para contribuir decisivamente no

esforço que se realiza para o desenvolvimento econômico, assim como para a inclusão e o resgate da imensa dívida social brasileira.

1.2.6 DIVERSOS USOS E APLICAÇÕES DO BAMBU

O bambu possui inúmeras aplicações e tem servido ao homem desde os tempos pré-históricos. Dele é possível obter móveis, utensílios, moradia, alimento, vestuário, instrumentos musicais, complexas estruturas arquitetônicas, entre outras tantas finalidades que conferem a essa planta a maior versatilidade de usos pelo homem do reino vegetal.

Muitos dos pioneiros usos, dados ao bambu, deram origem a grandes inventos, como também a máquinas e ferramentas que hoje se constroem em aço. Villegas (2001) destaca que as pesquisas com tecnologias de bambu revelaram, por exemplo, que a melhor agulha de gramofone foi feita de bambu, assim como o filamento da primeira lâmpada elétrica, criada por Thomas Alva Edison, depois de inúmeras tentativas e falhas. O primeiro avião, construído em 1907 por Santos-Dumont, o *Demoiselle*, também utilizou o bambu em sua estrutura. Na Ásia, as pessoas há muito tempo reconhecem a verdadeira versatilidade dessa planta e expressam essa admiração com simplicidade quando dizem que “o bambu é nosso irmão”.

De acordo com Silva (2005), o uso dessa planta data de aproximadamente 5.000 anos no oriente e de pouco mais de 500 anos na América do Sul. Cheia de significados nos países asiáticos, o bambu para os chineses representa amabilidade, modéstia e serenidade, no Vietnã simboliza um irmão e na Índia é conhecida como ouro-verde. Nos tempos mais remotos, o bambu era empregado na fabricação de arcos e flechas, habitações, utensílios domésticos, embarcações, entre outros.

Nos últimos anos, várias técnicas para o uso do bambu estão sendo resgatadas, assim como, com o avanço da tecnologia novas soluções para o seu uso vêm surgindo em áreas como: a arquitetura, engenharia, medicina, farmácia, química e em outras áreas industriais. O organograma abaixo (figura 25) apresenta

as diversas áreas em o bambu tem sido empregado de forma natural, processada e industrializada.

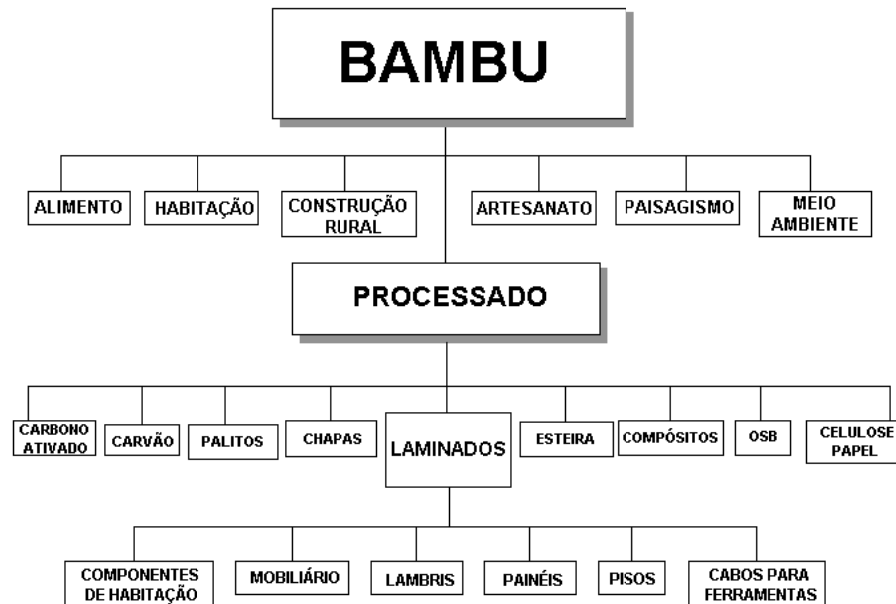


Figura 25: Organograma de possibilidades de uso do bambu².
 Fonte: PEREIRA (apud PEREIRA; BERLALDO, 2007, p. 155).

Na indústria alimentícia dominada pelos países asiáticos, há uma diversidade de produtos que vão desde os brotos (ricos em minerais, proteínas e fibras) até as bebidas alcoólicas (figura 26). Esta é uma das utilizações que se mostra cada vez mais promissora em curto prazo e apesar de ter a cultura oriental como sua principal apreciadora, já é possível encontrar os produtos a base de bambu sendo consumidos pelo mundo todo.



Figura 26: Alimentos à base de bambu.
 Fonte: INBAR, 2004, p.89.

² No quadro que corresponde somente aos componentes de habitação, considerar também os componentes da construção em geral.

O bambu também é utilizado na indústria da celulose e papel, sendo uma importante matéria-prima para países como a Índia e Bangladesh. No mundo, a produção de papel a partir do bambu ultrapassa 2 milhões de toneladas e na China, maior fabricante, são produzidos, anualmente, de 300 a 400 mil toneladas, representando aproximadamente 1,5% da produção total de papel. (ROASIO *et al.*, 2003)

Salgado (2006) explica que a principal característica para o uso do bambu na fabricação de celulose é a sua alta resistência e baixa porosidade, consequência da estrutura morfológica de suas fibras, que são longas como as dos pinheiros e estreitas como as do eucalipto. Isso viabiliza a produção de cartões duplex, sacarias multifoliadas e papel.

No Brasil, o Grupo Industrial João dos Santos, ao qual pertencem as empresas CEPASA, em Pernambuco e Itapagé, no Maranhão, há mais de 25 anos utilizam o bambu para fabricar produtos como: embalagens, sacarias, cartões entre outros. As empresas esperam ampliar a sua capacidade instalada do setor papelero para 450 mil toneladas/ano nos próximos cinco anos. Só a fabricante Itapagé possui atualmente capacidade instalada de 72.000 toneladas/ano e já iniciou seu plano de expansão. (Fonte: ITAPAJÉ S.A.)

Outra vertente é a transformação do bambu em matéria-prima energética através da produção do álcool e do carvão (figura 27). Seu poder calorífico superior ao da madeira e a capacidade de renovação do bambu fazem dele uma fonte de energia renovável e de grande potencial, o carvão obtido dele também é eficiente para limpeza dos rios e no tratamento de esgoto. O álcool etílico, que é produzido pela fermentação dos açúcares presentes no bambu, obtido pela hidrólise dos carboidratos compõe entre 70% e 80% do colmo seco. De acordo com Azzini e Salgado (1981), com essa porcentagem, a produção do álcool pode chegar de 250 a 380 litros por tonelada de bambu, muito superior ao rendimento de outras culturas como a cana-de-açúcar, mandioca, sorgo e outras fontes de carboidratos.



Figura 27: Produtos de carvão do bambu.
Fonte: INBAR, 2004, p.89.

São tantas e tão variadas as utilidades do bambu que ainda pode-se citar seu uso na indústria têxtil, farmacêutica e medicinal, principalmente nos países asiáticos, onde essa planta possui grande importância para economia e subsistência de muitas pessoas. Uma significativa atividade, que vem sendo desenvolvida há mais de vinte anos, com tecnologia dominada pela China e Japão, são os laminados colados de bambu para fabricação de pisos, placas, painéis e etc., conforme a figura 28. Em países da América Latina, especialmente na Colômbia, a laminação do bambu já vem sendo utilizada, mesmo que em menor escala se comparado com a indústria asiática.



Figura 28: Placas de laminados de bambu.
Fonte: INBAR, 2004, p.89.

No Brasil, o uso do bambu é mais expressivo no artesanato, no que tange à confecção de móveis (figura 29). No meio rural, ele pode ser encontrado em cercas, cabos de ferramentas, fechamento de paióis e nos abrigos dos animais e, esporadicamente como condutor de água.



Figura 29: Artesanato de bambu.
Fonte: www.sebraesp.com.br.

Com a infinidade de aplicações que essa planta apresenta, descrever todas elas seria impossível, a sua finalidade depende da habilidade e criatividade de quem a utiliza. O quadro 01 a seguir relaciona algumas das principais maneiras do emprego do bambu com as espécies mais indicadas para tais usos.

Quadro 01: Relação das espécies de acordo com a finalidade de uso.

Finalidade	Espécies
Álcool	<i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> e <i>Guadua flabellata</i>
Celulose	<i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> , <i>Dendrocalamus giganteus</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>
Alimentação	<i>Dendrocalamus giganteus</i> , <i>Dendrocalamus latiflorus</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>
Construção	<i>Guadua sp</i> , <i>Dendrocalamus giganteus</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> , <i>Bambusa tulda</i> e <i>Phyllostachys sp.</i>
Ornamental	<i>Bambusa gracilis</i> , <i>Thyrsostachys siamensis</i> , <i>Phyllostachys nigra</i> , <i>Phyllostachys purpurata</i> , <i>Arundinária amabilis</i> , etc.

(Fonte: SALGADO; GODOY Jr. 2002, p. 31)

As espécies, em destaque no quadro 01, possuem colmos eretos de médio a grande porte, com resistência e durabilidade superiores as demais espécies

existentes. Estas características atribuem um enorme potencial no desenvolvimento de elementos estruturais destinados à construção civil.

Apresentadas as finalidades de uso e as principais características sobre a planta, o capítulo seguinte propõe a sua utilização, especificamente na construção civil, tendo em vista que esta é a atividade enfocada para o emprego do bambu nesta pesquisa.

1.3. O USO DO BAMBU COMO MATERIAL CONSTRUTIVO

1.3.1 PROPRIEDADES CONSTRUTIVAS

O bambu é um dos mais antigos materiais de construção, sua utilização, como material construtivo, provavelmente, começou com a história de desenvolvimento do homem, e ainda está longe de terminar. (OTTO, 1985)

Em áreas tropicais do sudoeste asiático, Dunkelberg (1985) relata que por causa da predominância de vantagens como a versatilidade e disponibilidade, o bambu tem maior importância do que a madeira e é muito empregado em processos de autoconstrução.

Esse material reúne características que permitem sua aplicação em diversas finalidades como: pisos, paredes, construções rurais e etc., contanto que se mantenham os cuidados de secagem, tratamento e coleta, atentando, principalmente, para a idade dos colmos utilizados. Também pode ser empregado em todas as partes de uma casa, com exceção dos lugares próximos à água e ao fogo. Os chineses há muito tempo aproveitam a resistência do bambu em estruturas, andaimes e ainda em substituição ao ferro como reforço do concreto.

As longas e fortes fibras do bambu o tornam extremamente flexível e muito resistente às tensões de tração e compressão, e ainda, permitem o fácil fracionamento no sentido longitudinal dos colmos. Todas essas vantagens dão ao bambu um lugar especial na indústria da construção, principalmente, quando as considerações em relação aos custos são importantes.

Dentre as várias vantagens do uso do bambu, Ghavami (2006, p.112) cita algumas qualidades como matéria-prima para a construção civil, tais como:

- a) Baixa energia de produção se comparada a outros materiais como o aço, concreto e madeira, o que resulta em baixo custo;
- b) Grande e constante produtividade nas plantações;
- c) Baixa massa específica, o que reduz o custo de seu manuseio e transporte,

d) Forma tubular acabada, estruturalmente estável e com diversas aplicações construtivas, inclusive como tubos hidráulicos;

e) Resistência mecânica compatível com os esforços solicitantes a que estariam submetidas em estruturas adequadamente dimensionadas; e

f) Vida útil dentro das expectativas normais de vida dos materiais convencionais, relativo às condições ambientais onde é utilizado, seja ao ar livre ou envolvido por outros materiais.

O autor alerta ainda que, para o uso do bambu em grande escala, como material de engenharia, economicamente viável, e com possível industrialização, faz-se necessário estudo científico sistemático, que envolva os processos de plantação, colheita, cura, imunização e pós-imunização. Além de uma completa análise estatística das propriedades físicas e mecânicas no nível meso, micro e nano do colmo do bambu inteiro. A partir disso, é possível criar critérios confiáveis de dimensionamento e emprego de processos industriais viabilizando economicamente o uso do bambu em grande escala.

Em relação às características construtivas que essa planta oferece Alves (2006, p.76) diz que:

Os troncos [colmos] dos bambus variam em altura e diâmetro, havendo aqueles que crescem até mais de 30m de altura e outros que não passam de arbustos, com diâmetros variando de 0,5 até 3,0cm. Seu colmo cilíndrico e oco é dividido em intervalos por nós salientes, tornando-o um material leve e flexível, com massa específica aparente variável de 500 a 790 kg/m³ (média de 650 kg/m³). A elevada relação resistência/peso, associada ao baixo custo do material, tem levado os pesquisadores a utilizá-lo na construção civil, em substituição à madeira a ao próprio aço de construção.

É importante observar que a maioria das espécies possui colmos ocos e cilíndricos, mas existem bambus sólidos como os da espécie *Chusquea liebmannii* e também bambus com seção ligeiramente quadrangulares como, por exemplo, a espécie *Chimonobambusa quadrangularis*. (LONDOÑO, 2004)

Em relação à resistência à tração e o peso específico do bambu, esta pode ser comprada pela tabela 03.

Tabela 03 – Relação entre a resistência à tração e o peso específico.

Material	Resist. Tração σ (N/mm ²)	Massa específica ³ W (N/mm ³ x 10 ⁻²)	$R = \frac{\sigma t \times 10^4}{W}$	R/R.aço
Aço (CA 50A)	500	7,83	0,64	1,00
Bambu	140	0,80	1,75	2,73
Bronze	703	8,86	0,79	1,24
Ferro forjado	423	7,70	0,55	0,83
Latão (naval)	400	7,51	0,53	0,83
Alumínio	304	2,79	1,09	1,70
Ferro Fundido	281	7,20	0,39	0,62

(Fonte: GHAVAMI, 1990, p.157)

Nota-se nos resultados obtidos da tabela 03, que o bambu apresenta valores satisfatórios aos esforços solicitantes, quando comparado a outros materiais. Verificando, especificamente, os dados do aço e do bambu, é possível observar que este último possui um valor 2,73 vezes maior do que o primeiro, quanto a relação tração e peso específico, constatando a sua viabilidade estrutural.

No Brasil, onde o bambu é endêmico, sua adoção como material para a indústria da construção é ideal para o desenvolvimento desse setor, principalmente para atingir as comunidades que não têm acesso a muitos dos materiais convencionais disponíveis no mercado. Além de ser uma matéria-prima renovável e econômica, apresenta um comportamento satisfatório para o uso na construção civil. Inclui ainda qualidades como: plasticidade, leveza, flexibilidade e resistência.

Outra vantagem é o conforto térmico proporcionado pelas construções em bambu. Ghavami (*apud* Silva, 2005) comprovou que o bambu possui condutividade térmica para transmissão de calor radial de 15% menor que a madeira em condições iguais de umidade. E com relação à transmissão longitudinal de calor, o bambu atingiu uma condutividade 25% menor que na madeira.

GRAÇA (1988) afirma que o bambu pode substituir o ferro em construções de casas, muros, prédios, etc. Porém, a autora elucida que não existe no Brasil aplicação nesse nível, pois a legislação proíbe construções dentro do perímetro

³ Adaptado pela autora de 'peso específico' para 'massa específica'

urbano à base de material combustível, enquanto na Colômbia são encontradas cidades que utilizam o bambu na maior parte das edificações, como em Manizales, uma cidade com aproximadamente 400 mil habitantes.

Por outro lado, Ghavami (1990) demonstra as duas principais desvantagens do uso do bambu como reforço ao concreto que são: a variação de volume pela absorção da água e baixo módulo de elasticidade, que varia em função da posição no colmo. Na parte externa, por exemplo, o módulo de elasticidade é 14% maior que na parte interna. Mesmo assim, o uso dessa técnica se justifica em construções rurais e em peças que não sejam muito solicitadas mecanicamente, como em painéis, mourões de cerca e etc., já que esse material cresce em abundância em regiões tropicais e pode ser facilmente trabalhado.

Os inúmeros usos do bambu dependem, unicamente, das características que seu colmo possui. Para isso conhecer suas propriedades físicas, mecânicas e químicas torna-se indispensável.

As características físicas, dentro de uma mesma peça de bambu, são variáveis. O diâmetro e a sua espessura vão diminuindo conforme a altura, enquanto os intervalos entre os nós vão aumentando até a sua extremidade superior, sendo a parte mais flexível do colmo. Conseqüentemente, como o diâmetro e a espessura são maiores na extremidade inferior, esta é a parte mais resistente, sendo mais indicada para o uso em que são aplicadas cargas de tração e compressão, como vigas e colunas. A parte intermediária se emprega em armaduras de cercas, paredes, muros, divisórias, pisos e vigotas. E o terço superior do colmo é mais indicado para estruturas de telhados, suporte de telhas de barro e de coberturas de palha. (SALGADO; GODOY Jr, 2002)

A seguir, a tabela 04 contém os valores médios de comprimento útil, diâmetro e peso de algumas espécies de bambu, importantes para garantir o uso adequado conforme suas características físicas.

Tabela 04: Propriedades físicas do bambu.

Espécies	Colmos		
	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Massa ⁴ (kg)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	16,0	14,2	84,5
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,1	8,2	17,5
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,5	12,2	61,3
<i>Bambusa tulda</i>	11,9	6,6	11,9
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,5	11,5	40,7
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,3	9,4	26,0
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,7	8,1	12,5
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,5	7,6	15,0
<i>Bambusa nutans</i>	10,0	5,8	7,8
<i>Bambusa oldhami</i>	9,9	6,9	8,4
<i>Bambusa dissimulator</i>	9,5	4,6	5,2
<i>Bambusa vulgaris var. vittata</i>	9,3	7,2	10,3
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,3	4,8	4,5
<i>Bambusa tuldoides</i>	9,2	4,3	3,8
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,0	7,8	10,5
<i>Bambusa textilis</i>	8,1	4,8	3,3
<i>Bambusa maligensis</i>	7,4	4,3	3,5
<i>Phyllostachys edulis</i>	4,4	3,6	2,1

(Fonte: GRAÇA, 1988, p.26)

Quanto à resistência do bambu, esta varia conforme a espécie, idade, condições de crescimento, índice de umidade, disposição dos nós, posição ao longo do colmo e densidade específica. Segundo as Nações Unidas (1972), a resistência à compressão paralela às fibras varia entre 31,5 a 72,5 MPa. E o módulo de elasticidade de colmos maduros e secos ao ar, varia entre 12,5 a 19,5 GPa. Secos com fogo, os bambus podem atingir 22,5 GPa e os colmos verdes geralmente apresentam valor abaixo de 10,0 GPa.

Para fins comparativos, a tabela 05, a seguir, apresenta os valores médios referenciais aos módulos de elasticidade por compressão de outros materiais utilizados na construção civil.

⁴ Adaptado pela autora de 'peso' para 'massa'.

Tabela 05: Módulo de elasticidade referente à compressão.

Material	Módulo de elasticidade (GPa)
Aço	210,00
Alumínio	70,30
Concreto	25,54
Madeira (Pinho do Paraná – na direção das fibras)	10,50
Madeira (Pinho do Paraná na direção perpendicular às fibras)	2,10

(Fonte: SILVA; SOUTO, 2000, p. 60)

Comparando as constantes elásticas dos materiais na tabela 05 com a do bambu, é possível observar que o seu valor é superior ao da madeira, se for considerado o valor médio equivalente a 16,00 GPa para o módulo de elasticidade do bambu na compressão paralela as fibras, um bom resultado para materiais utilizados com fins estruturais.

Como complemento, a tabela 06 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas, bastante relevantes para o uso do bambu como material de construção.

Tabela 06: Propriedades mecânicas

PROP. MECÂNICAS		ESPÉCIE	<i>Bambusa</i>	<i>Bambusa</i>	<i>Bambusa</i>	<i>Bambusa</i>	<i>Bambusa</i>	<i>Bambusa</i>	<i>Dendro-</i>
			<i>multiplex</i>	<i>multiplex</i>	<i>tuldoides</i>	<i>guadua</i>	<i>vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>calamus</i>
			<i>raeusch</i>	<i>disticha</i>		<i>superba</i>	<i>imperial</i>	<i>scharid</i>	<i>giganteus</i>
Tração (MPa)	σ / no	σt	124,7	124,5	119,5	146,5	134,4	170,6	135,0
		Et x 10 ³	11,21	14,0	11,93	11,16	7,76	10,97	14,5
	s / no	σt	95,3	74,3	104,00	112,3	48,05	127,77	110,4
		Et x 10 ³	10,05	11,54	9,27	9,12	6,05	8,81	11,75
Compressão (MPa)	σ / no	σc	35,70	28,25	38,05	47,80	41,10	52,67	45,54
		Ec x 10 ³	3,30	4,21	3,01	3,34	2,48	3,24	4,02
	s / no	σc	27,20	20,30	30,10	35,70	12,30	39,67	38,96
		Ec x 10 ³	2,80	3,30	2,90	2,65	2,10	2,59	3,58
Flexão (MPa)	σ / no	σb	98,30	80,80	100,0	113,50	115,0	141,33	124,36
		Eb x 10 ³	9,68	11,87	9,34	9,24	6,62	9,35	12,18
	s / no	σb	71,0	60,0	86,5	89,75	41,75	106,94	93,04
		Eb x 10 ³	8,03	8,63	7,26	6,73	5,18	7,35	10,0
Cisalhamento	τ (MPa)	62,0	53,0	54,5	48,0	40,08	41,17	44,0	

(Fonte: GHAVAMI, 1990, p.155)

As propriedades mecânicas estão correlacionadas com a densidade específica do bambu (tabela 07), pois esta característica depende, principalmente, das fibras que conferem resistência ao colmo. Na base, por exemplo, resistência da parte externa é de 2 a 3 vezes maior que a da parte interna. De acordo com Liese

(1987), a massa específica aparente dos bambus varia entre 0,5 a 0,8 g/cm³, sendo que há um aumento da base para o topo, e a parte externa do colmo tem densidade superior em relação à parte interna.

Tabela 07 – Densidade específica de algumas espécies de bambus usados na construção civil.

Espécie	Massa específica g/cm³	Local
<i>Bambusa vulgaris</i>	0.83	Porto Rico
<i>Guadua angustifolia</i>	0.82	América do Sul
<i>Bambusa tuldoides</i>	0.79	América do Sul
<i>Phyllostachys edulis</i>	0.66	China
<i>Dendrocalamus strictus</i>	0.62	Porto Rico

(Fonte: NAÇÕES UNIDAS, 1972, p.90)

Sobre o índice de umidade do bambu, este é influenciado pela sua idade, época de colheita, espécie e apresenta variações dentro de um mesmo colmo. Nos colmos mais jovens, em média um ano de idade, este índice é elevado e pode variar entre 120 e 130% nas duas extremidades, base e topo. Nos colmos com 3 a 4 anos, a base tem maior índice de umidade do que o topo, assim como a parte interna possui mais umidade do que a parte externa. A estação possui grande influência no índice de umidade do colmo, chegando ao nível mínimo durante o período de seca, seguido pelo nível máximo nas estações chuvosas, neste período a quantidade de água presente nos colmos pode chegar a dobrar. (LIESE, 1987)

No caso da retração, causada pela perda de umidade no bambu, segundo as pesquisas das Nações Unidas (1972), ela se inicia logo após o corte podendo atingir de 4 a 16% na espessura da parede e de 3 a 12% no diâmetro. Já ao longo do colmo, a retração é insignificante, chegando a 0,1% no comprimento em diferentes espécies. As rachaduras acontecem, principalmente, no processo de secagem e em menor número nos colmos maduros.

Já a composição química do bambu depende da espécie, condições de crescimento, idade e posição no colmo, mas é principalmente formado por celulose, hemicelulose e lignina. No primeiro ano de amadurecimento do bambu, os brotos macios e frágeis se tornam duros e fortes, durante este período a proporção de lignina e carboidratos é alterada. Entretanto, depois do amadurecimento total do colmo a composição química tende a permanecer estável. A sílica contida nos

bambus varia de 0.5 a 4%, aumentando da base para o topo, sendo que a maior concentração está na parte externa do colmo, ao passo que os nós contêm pouca sílica e os tecidos da parte interna dos entrenós quase nenhuma. (LIESE, 1987)

A presença de determinadas substâncias afeta diretamente, as propriedades construtivas do bambu, por exemplo, o amido presente, no tecido parenquimatoso, em grande quantidade, atrai insetos que comprometem a durabilidade dos colmos, por isso espécies com altas concentrações de amido devem ser evitadas.

Um outro ponto a ser levantado corresponde ao aspecto social relacionado ao uso do bambu na construção civil. É possível comprovar através de algumas experiências que o uso do bambu possibilita a inclusão social por se tratar de uma tecnologia de fácil assimilação pela população em geral. Segundo Jaramillo (*apud* VILLEGAS, 2001), o bambu tem promovido a rápida formação de vilas, tornando-se crucial para a vida no campo. A facilidade do corte, manuseio e disponibilidade da planta, qualidades encontradas nesse material aceleram o processo de construção sendo possível utilizá-lo em todas as partes de uma edificação. Arbeláez (*apud* VILLEGAS, 2001), completa que não há material com tamanha resistência que possa ser trabalhado com a mesma facilidade com que é produzido.

De fato, o bambu é um material de construção natural renovável de rápido crescimento, sua larga utilização não acarretaria em problemas ecológicos tampouco na escassez desse recurso. A facilidade, com que é trabalhado, estimula projetos de autoconstrução. De acordo com Dunkelberg (1985), com o bambu é possível cultivar o material de construção necessário para ampliação ou renovação de sua própria casa, em um pequeno espaço de seu quintal, ou até mesmo nas margens das ruas. Somando a isso, a estabilidade estrutural apresentada pelas edificações de bambu, construídas em regiões propensas a terremotos, constitui uma grande vantagem em relação ao baixo peso específico e elasticidade estrutural desse material.

Além disso, o bambu é um dos recursos da biodiversidade biológica que oferece aos países em desenvolvimento oportunidades de desenvolvimento,

geração de emprego e renda sendo capaz de responder às demandas da economia local. (ALMEIDA, 2006)

Cabe salientar, porém, que Freire (*apud* ALVES, 2006) aponta para a necessidade de uma orientação especializada para escolha da espécie adequada para o uso na construção. Por exemplo: o bambu recomendado para estruturas e armaduras deve ter um volume de fibras maiores, por unidade de área, para tornar o colmo mais resistente aos esforços mecânicos, por exemplo, a *Guadua sp.*. Já o bambu para a produção de celulose será o que apresenta maior volume de celulose e amido na sua estrutura, como o *Bambusa vulgaris* e o *Dendrocalamus strictus*.

Assim, é importante considerar o desafio em pesquisar e utilizar materiais de construção mais adequados à realidade dos países em desenvolvimento, materiais que estabeleçam uma relação cultural, humana e econômica adequados a cada país. No caso do Brasil, que possui excelentes condições para cultivo e uso do bambu, este ativo ambiental, além de valioso esteticamente, possui características que se encaixam nas nossas necessidades econômicas, sociais e ambientais, portanto, necessidades para o desenvolvimento sustentável do País.

1.3.2 USOS E APLICAÇÕES DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O potencial construtivo do bambu é amplamente difundido nos países asiáticos e, também, pode ser observado em alguns países latino-americanos como no Equador, na Costa Rica e Colômbia. As espécies mais utilizadas na construção são: o *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Phyllostachys sp.*, *Guadua sp.*, *Bambusa tuldoides* e *Bambusa tulda*. No Brasil, seu uso ainda é restrito a pequenas iniciativas isoladas, voltadas para a inserção do bambu no setor da construção civil.

As propriedades físicas e mecânicas do bambu, associadas à diversidade de espécies, fácil propagação e rápido crescimento, tornaram-no apropriado para uma variedade de propósitos, incluindo a construção. Por causa de sua versatilidade de usos, o bambu é extremamente importante em muitas culturas. Como podem ser

observadas na figura 30, as vilas flutuantes nas Filipinas e em Benin, na África dependem inteiramente do bambu associado à madeira para sua existência.



Figura 30: Vilas flutuantes na Filipinas e África, respectivamente.
Fonte: LANGLAIS, 2002, p. 92 e p. 110.

Lessard e Chouinard (1980) afirmam que, em nenhum lugar, o bambu tem tanta utilidade como no sul e sudoeste asiático. Ele é empregado na construção de casas, andaimes, escadas, esteiras, cestos, cercas, ferramentas, brinquedos, instrumentos musicais e muitos outros usos diários, incluindo o papel, combustível e alimento. É até difícil imaginar o que a população asiática faria sem esta planta. Em lugares populosos, como China e Índia, praticamente todos os habitantes utilizam o bambu de diversas maneiras durante toda a sua vida.

Muitos dos elementos e formas estruturais arquitetônicas estabelecidas atualmente, de acordo com López (1978) tiveram sua origem em primitivas casas de bambu construídas na Índia, China e em outros países da Ásia. Os chineses foram os primeiros a construir pórticos em bambu e a utilizar as vigas que, posteriormente, foram chamadas de *Vierendeel*. As pontes atirantadas, ainda conforme o mesmo autor, também são derivadas das pontes construídas, primeiramente, com o bambu em Java e Burneo, assim como, as pontes suspensas que utilizavam para sua sustentação os cabos de bambu, com os quais os chineses venciam vãos de mais de 100 metros.

Nos sítios arqueológicos da civilização Valdivia no Equador, segundo Langlais (2002), foram encontrados vestígios de construções em bambu datados entre 3.500 e 5.500 anos a.C. Esteiras e cestos que datam de 3.300 a 2.800 anos a.C. foram encontrados na China. Mas, provavelmente, a história da construção com bambu

começa com a história do homem e remonta, tradicionalmente, de lugares onde é abundante, como América do Sul, África e particularmente a Ásia.

O bambu é, comumente, usado em construções em muitas regiões do mundo, sendo os colmos maiores e de melhor qualidade empregados em estruturas. Colmos menores e mais finos são usados para a estrutura do telhado no suporte de telhas. Fitas e folhas de bambu trançados são usadas para forração de paredes, forros e telhados. Os colmos finos, roliços e flexíveis são usados para fabricar varas de pescar. Por causa de sua leveza, resistência e baixo custo, o bambu prova ser passível de uso em construções nas áreas rurais, urbanas e no setor industrial de muitos países como pode ser visto na tabela 08, que mostra os valores em porcentagem do consumo do bambu em alguns países asiáticos.

Tabela 08: Porcentagem do consumo de bambu em alguns países asiáticos.

País	Construção		Usos Em áreas rurais	Embalagens	Manufatura de polpa	Outros usos
	Casas	Outros				
Bangladesh	50	10	20	5	10	5
União de Mianmar	33	32	32	5	-	1
Índia	16	16	30	7	17	14
Japão	24	7	18	7	4	41
Filipinas	80	-	15	2	-	3
Tailândia	33	20	6	-	8	33

(Fonte: LESSARD; CHOUINARD, 1980, p.111)

Outro exemplo é a Indonésia, onde 35% de todas as casas são construídas, exclusivamente, com bambu, conforme a figura 31, e outras 35% são construídas de bambu consorciado com a madeira. Provavelmente, este é o uso mais importante do bambu para a maioria dos indonésios. Uma casa inteira pode ser construída unicamente com essa planta incluindo pilares, paredes, pisos, vigas e telhados. De acordo com Dunkelberg (1985), em Bangladesh e União de Mianmar 60% das casas são de bambu. Já em Guayaquil, no Equador, 50% da população vivem em habitações de bambu, correspondendo a 1 milhão de pessoas. (ROASIO *et al.*, 2003)



Figura 31: Casa de aldeia construída sobre pilotis em Célebes – Indonésia.
Fonte: LANGLAIS, 2002, p.65.

Villegas (2001) relata que muitas pessoas atribuem às casas de bambu um “simplório” nível de design, considerando o material como “a madeira dos pobres”, mas no Japão, por exemplo, o bambu vem sendo usado para construir belas casas e, inclusive, com alto padrão econômico. Na Costa Rica e na Colômbia, os programas que constroem residências voltadas para a população de baixo poder aquisitivo conseguem resultados similares a esse elevado nível de design (figura 32), provando que construir de forma atrativa com o bambu é só uma questão de domínio da técnica e criatividade.



Figura 32: Conjunto habitacional social em Manizales - Colômbia.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p.380.

As tradicionais casas chamadas de *Tongkonan* na Indonésia são outro exemplo de grande valor estético (figura 33). Estas casas são construídas em madeira, mas suas majestosas coberturas são feitas de bambu. Langlais (2002) explica que este tipo de cobertura é formado por várias camadas sobrepostas de colmos de bambu da espécie *Schizostacyum brachycladum*, formando painéis com

até 1 metro de espessura. São necessárias em média 250 telhas/m² feitas destes colmos para compor estrutura, que se torna extremamente pesada. As casas *Tongkonan* da tribo Toraja possuem um forte apelo espiritual e ainda hoje são construídas de acordo com os métodos tradicionais.



Figura 33: *Tongkonan*, tradicional construção da tribo Toraja na Indonésia.
Fonte: LANGLAIS, 2002, p.65.

A exemplo das modernas obras com bambu, arquitetos como Símon Vélez vem desenvolvendo estruturas complexas utilizando o bambu roliço, como o Pavilhão Zeri (figura 34) e tantas mais na Colômbia e em outros lugares do mundo. As ligações das peças propostas pelo arquiteto, conhecidas como Ligações Vélez, são preenchidas com concreto nos segmentos que receberão parafusos apresentando um excelente desempenho estrutural.



Figura 34: Pavilhão Zeri do Arquiteto Simon Vélez na Colômbia.
Fonte: www.bambootechnologies.com.

Além das obras citadas, o bambu tem sido empregado na construção de habitações populares com grande sucesso. O seu uso, além de promover a sustentabilidade, é uma tecnologia barata, disponível e de fácil assimilação, características fundamentais para a produção de moradias sociais. Projetos desenvolvidos na Colômbia, Costa Rica (figura 35) e até mesmo no Brasil, têm comprovado o potencial do bambu para o desenvolvimento de programas habitacionais destinados à população de baixa renda.



Figura 35: Habitação popular do Programa Nacional de Bambu da Costa Rica.
Fonte: www.inbar.int.

No Brasil, Sartori (2006) explica que as condições climáticas para o plantio do bambu podem ser consideradas favoráveis, permitindo o cultivo e manejo de boa parte das 1.200 variedades encontradas no mundo. Em vários países, o uso do bambu já é uma realidade economicamente viável. Aqui mesmo no Brasil, já são conhecidas iniciativas com o intuito de criar negócios, com esse tipo de material, como mostra a figura 36, com o protótipo de habitação popular construído em Alagoas pelo Instituto do Bambu.



Figura 36: Protótipo de habitação popular em bambu, Maceió/AL.
Fonte: www.globorural.globo.com.

De fato, a redução dos custos construtivos proporcionados pelo uso do bambu, se associado à boa qualidade das edificações e ao tratamento adequado dos colmos, torna possível sua inclusão no setor da construção civil, atendendo inclusive, segmentos da sociedade ignorados pelo mercado. A adoção de uma tecnologia simples, como o bambu, poderá substituir produtos similares, por exemplo, a madeira, com qualidade e a preços competitivos.

Sendo um recurso natural renovável, o bambu possui alto rendimento, que pode ser convertido para a fabricação de móveis, compensados, laminados e estruturas. Países como Filipinas, China e Índia têm explorado de forma intensa esse recurso, que se converte em um alto volume de exportações, responsável por boa parte da economia desses países, envolvendo a produção de alimentos, artesanato, mobiliário, construção civil, entre outros.

Na aplicação dos bambus em arquitetura, engenharia e desenho industrial, Almeida (2004) constata que uma das vantagens a ser observada é a morfologia ou geometria do seu colmo. Esta variável, juntamente, com as caracterizações efetuadas pela botânica e pela engenharia desempenham um papel relevante, na aplicação dessa matéria-prima, nas mais diferentes atividades econômicas, especialmente, na manufatura de objetos e componentes construtivos.

Além do que, como componentes construtivos, as lajes, vigas, pilares, treliças e tesouras de bambu oferecem uma boa possibilidade para estrutura de edificações como: casas, escolas, galpões, comércios, entre outros. Devido à sua elevada razão resistência/peso, componentes construtivos de bambu oferecem importantes vantagens para tais estruturas, que podem ser pré-fabricadas e aplicadas posteriormente à obra.

As vedações em bambu (paredes, portas, janelas, etc.) possuem as formas mais variadas e podem ser muito vantajosas, pois são econômicas e facilmente executadas. A técnica escolhida depende da função e resistência requerida e pode, por exemplo, controlar a entrada de luz e ventilação e proteger contra as intempéries, para isso podem ser adotados os bambus roliços ou cortados ao meio, dispostos de forma vertical ou horizontal, os painéis feitos com esteiras ou até

mesmo os revestidos de barro ou argamassa. A figura 37 apresenta um tipo de vedação que reúne colmos inteiros, cortados ao meio e painéis com esteiras de bambu.



Figura 37: Fachada com diversas técnicas de vedação em bambu.
Fonte: LANGLAIS, 2002, p.149.

Alves (2006) destaca que o bambu pode ser transformado em tubulação hidráulica, removendo os diafragmas (septos), tem-se um cano pronto para transporte de água. Pereira e Beraldo (2007) completam que a idéia principal deste método de irrigação é a possibilidade de utilização de um material renovável e de baixo custo pelos pequenos agricultores. A durabilidade das instalações hidráulicas desenvolvida pelo pesquisador Marco Antonio dos Reis Pereira, no *campus* da Unesp de Bauru, foi de dois anos utilizando bambus sem tratamento, e seis anos quando se empregou bambus tratados.

Os colmos do bambu têm sido utilizados também, na construção de andaimes, há muitos séculos (figura 38) e servem admiravelmente para este propósito, por causa de sua resistência, elasticidade e forma. É amplamente utilizada em países como a Ásia, África e América Latina para dar suporte na execução de construções, pinturas e eventuais reparos. Devido à sua elasticidade, as estruturas de bambu conferem importantes vantagens sobre as construções rígidas. Em regiões, onde ocorrem, freqüentemente, bruscos tremores de terra, as edificações com estrutura de bambu podem resistir por mais tempo do que qualquer outra estrutura. (NAÇÕES UNIDAS, 1972)



Figura 38: Andaime de bambu.
Fonte: www.art.com.

Um importante desafio para o uso do bambu, na construção civil, é o seu emprego como reforço para elementos de concreto, principalmente, para a indústria da habitação de países não-industrializados, visto que é um recurso barato e disponível, necessitando apenas de uma tecnologia simples para sua industrialização. Ghavami (2001) ressalta que em comparação com o aço, tradicionalmente, utilizado para reforço do concreto, de pesos equivalentes, a energia de produção do bambu é menor e a partir disso o custo da fabricação dos elementos estruturais é, conseqüentemente, baixo, pode-se somar a isso, a facilidade do transporte do material e um pequeno número de pessoas treinadas para o processamento dos colmos. O desenvolvimento e a aplicação dos elementos estruturais de bambu são, ao mesmo tempo, um desafio e a solução para combinar materiais e métodos da construção convencional com os da construção não-convencional.

Alves (2006) acrescenta que lajes, vigas e pilares podem ser armados com bambu, produzindo os principais elementos de uma edificação de pequeno porte. Estudos desenvolvidos, nesse sentido, apontaram resultados satisfatórios que viabilizam este tipo de estruturas.

Como reforço para o concreto, o bambu certamente tem vantagens óbvias, como a elevada resistência à tração, elevada razão resistência/peso, disponibilidade de material e baixo custo. Ele tem sido utilizado para este fim no Japão, na China e nas Filipinas. As pesquisas realizadas, em diversos países, demonstraram que o concreto reforçado com bambu, eleva, consideravelmente, a sua capacidade de

suportar cargas em relação aos elementos sem reforço algum. Entretanto, existem algumas limitações, envolvendo os elementos estruturados com bambu, que são as variações volumétricas provocadas pela perda ou absorção de água no bambu, a baixa aderência, a possível degradação e as diferenças entre as propriedades térmicas de expansão entre o bambu e o concreto. Assim, é preciso superar estas limitações para que o bambu possa ser plenamente eficaz quando usado como reforço para o concreto. (NAÇÕES UNIDAS, 1972)

Outro ponto a ser considerado, quanto ao uso do bambu, na construção civil, é a ligação entre as peças, crucial para o conjunto de uma estrutura eficiente. Existem diversas maneiras de executar ligações em bambus, que podem ser paralelas, diagonais, ortogonais ou ainda através de suas extremidades. Em muitas delas, peças de madeira, ou até mesmo o concreto, são introduzidos, internamente aos colmos, para dar maior estabilidade e evitar o esmagamento das peças. Além da união e estabilidade, as ligações podem agregar um valor estético à obra com o uso de encaixes metálicos, amarrações com fibras, cordas de plástico, entre outros, proporcionando uma vasta possibilidade de formas para as ligações estruturais. Arquitetos, como Renzo Piano e Shoji Yoh, têm explorado essas possibilidades em nível experimental, demonstradas na figura 39.



Figura 39: Ligações metálicas de Renzo Piano e Shoji Yoh respectivamente.
Fonte: www.bambootechnologies.com.

Em uniões estruturais, Barbosa e Ino (1996) fazem observações fundamentais para a utilização do bambu, que devem ser, com colmos de idade superior a três anos, curados, secos e tratados e que tenham o diâmetro e espessura apropriados aos esforços solicitados. Para ligações em peças horizontais, é indicado o uso de amarrações de arames duplos ou triplos de igual comprimento,

cordas de plástico ou cordas vegetais de diâmetros apropriados. Recomenda-se ainda, o uso simultâneo de amarras e cavilha de madeira, parafusos ou conexões metálicas para distribuir as forças aplicadas e evitar a torção na ligação.

As autoras completam que o bambu não resiste à aplicação de pregos metálicos, devido à sua constituição ser, basicamente, composta por fibras axiais muito longas, com densidade específica muito alta, principalmente, nas paredes externas, com grande tendência ao fendilhamento. As ligações mais indicadas por proporcionar maior estabilidade são as aparafusadas e os pinos de bambu, pois há o corte das fibras, sem o afastamento entre elas, evitando assim fissuras. A grande vantagem das ligações parafusadas é permitir ajustes de acordo com a trabalhabilidade do material em relação às variações da umidade relativa do ar, ou ainda, do término do processo de secagem de peças utilizadas não devidamente secas.

De acordo com Dunkelberg e López (*apud* CARDOSO Jr., 2000), o bambu tem baixa resistência ao cisalhamento, fato que deve ser considerado no desenho das juntas. A presença dos nós nas ligações aumenta em 50% a resistência ao cisalhamento ao longo das fibras, atingindo um valor médio de 1,67 MPa. Outra observação importante a fazer, é que, em cada um dos extremos das peças envolvidos nas ligações, deve-se coincidir a existência de um nó, caso contrário, as cargas verticais transmitidas, neste apoio, podem causar um esmagamento das peças, comprometendo as ligações. Porém, não sendo possível a coincidência dos nós em cada extremidade das peças, pode-se optar pela utilização de um segmento de madeira ou mesmo um nó de bambu em seu interior, conforme a figura 40.

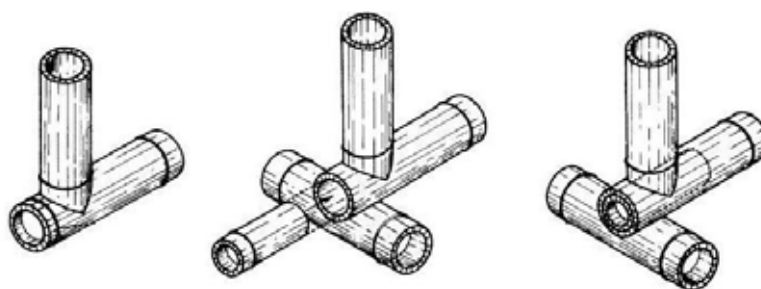


Figura 40: Maneira de evitar o esmagamento das peças em ligações de bambu.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 225.

1.3.3 CULTURA CONSTRUTIVA DO BAMBU: DIFICULDADES E PERSPECTIVAS

A preocupação em reduzir os impactos causados pelas atividades humanas no meio-ambiente tem levado muitos pesquisadores a buscar tecnologias limpas, inclusive, para o setor da construção civil, que contribui muito para a escassez dos recursos naturais.

Longe de ser uma prática consolidada, o uso dos materiais não-convencionais ainda enfrenta muitas barreiras. O consultor Márcio Augusto Araújo do Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA (2005), que comercializa materiais ecológicos, considera que:

Mais do que resistência, o que existe é um desconhecimento e desconfiança. Muitos acreditam que esses produtos, por serem ecológicos, são artesanais, e que depois de um tempo deixarão de existir ou que não atendem às normas técnicas exigidas pelas entidades que regulamentam o setor, como a ABNT. Embora esses produtos não possuam normas específicas, porque não existe uma regulamentação no Brasil ainda, todos são testados em laboratórios de renome, como o IPT, USP-São Carlos, Instituto Adolfo Lutz, Falcão Bauer, entre outros. Os produtos não deixam a desejar em relação à durabilidade e resistência, a um convencional, e que tem algo que o último normalmente não tem: desempenho ambiental, que favorece a vida e a saúde (...). Existe um interesse crescente pela construção sustentável, que hoje é uma realidade em países como Austrália e Alemanha.

Sobre a normatização do uso do bambu na construção civil, cabe ressaltar que, segundo Vasconcellos (2004) a INBAR trabalha para a inserção de códigos e normas construtivas do bambu nos manuais da ISO, pode-se citar, por exemplo, a ISO N314 que regula os ensaios para determinação das propriedades mecânicas do bambu.

Mas não é só o preconceito e o comportamento adverso a novidades das pessoas que impedem o desenvolvimento de um número maior de ações e projetos há, também, a falta de informação e de educação ambiental que deveria existir desde os bancos escolares.

Muito embora as universidades pesquisem, exaustivamente, técnicas de construção que não agridam o meio-ambiente, as descobertas ficam à margem da

arquitetura tradicional e são tratadas como pitorescas ou alternativas. Poucos são os engenheiros e arquitetos que estão investigando o uso do bambu na construção civil e as pesquisas, em sua grande maioria, estão restritas ao meio acadêmico, a pequenos grupos ou iniciativas individuais.

Na atividade profissional, que envolve o projeto de arquitetura, Almeida (2004) constata que o bambu está praticamente ausente, não sendo considerado pela grande maioria dos projetistas como uma opção de igual valor aos demais materiais de uso corrente na construção como, por exemplo, o concreto, o aço e a madeira.

A insuficiência de informações técnicas sobre o bambu é um reflexo do seu pouco uso no setor brasileiro da construção que, é insignificante do ponto de vista econômico, principalmente, se for comparado com a aplicação do bambu na indústria moveleira, na fabricação semi-industrial ou artesanal de móveis e de objetos diversos destinados ao uso doméstico. (ALMEIDA, 2004)

Em outro contexto, algumas das informações divulgadas pela mídia geram, em muitos casos, perspectivas irreais sobre este material, expondo uma situação em que não há restrições para o uso do bambu, instaurando a idéia de que ele pode ser empregado indiferentemente nas mais variadas situações. Klein (*et al.*,2006) argumenta que se cria, então, uma procura por artigos de bambu pelo público em geral, que vai desde os objetos decorativos às edificações. Conseqüentemente, por não existir uma cultura para o aproveitamento do bambu, suficientemente desenvolvida em nosso País, não há como suprir tal demanda.

E, numa situação mais grave, o mesmo autor completa que, por não existir muitos profissionais habilitados ao trabalho com bambu, surge a figura de um profissional desqualificado, comprometendo a qualidade do produto oferecido e o trabalho dos profissionais atuantes na área.

Almeida (2004) observa que a utilização parcimoniosa desse material e, sobretudo, combinada com outros materiais de construção, seria uma medida razoável que o profissional poderia tomar, quando da aplicação do bambu na arquitetura. O uso intensivo, como fazem os colombianos, talvez não seja adequado

à situação brasileira, pois não há ainda uma oferta tão grande de material como eles possuem e nem tampouco as demais condições produtivas.

Ressalta-se que, para fins industrializáveis, não há bambus o suficiente para atender tal demanda, pois não existem muitas coleções desta planta no Brasil e, sobretudo, não há uma política pública voltada para este fim.

Almeida (2006) destaca que as ações governamentais a nível federal e estadual voltadas para o bambu são contingenciais, esporádicas e isoladas não havendo entre elas nenhuma articulação. As conseqüências dessa falta de convergência são visíveis. Segundo o autor, por um lado, o País deixa de usufruir de um dos recursos mais importantes de sua biodiversidade e, por outro lado, esse ativo ambiental tende a desaparecer com a expansão da fronteira agrícola que se utiliza da derrubada de florestas para dar lugar a culturas mais lucrativas ou para formação de pastagens destinadas a criação de gado.

Roasio (*et al.*, 2003) afirma que, de maneira geral, as condições que colaboram para o baixo desenvolvimento produtivo são, principalmente, de origem cultural. Muitas espécies são consideradas obstáculos para plantações florestais, pois se acredita que elas competem com espécies arbóreas de matas nativas, impedindo seu desenvolvimento.

No Chile, por exemplo, o mesmo autor relata que a percepção negativa por parte da população, sobre os bambus, se deve à crença que o período de floração está associado a épocas de calamidades naturais, isto porque, após o florescimento, do tipo gregário, touceiras inteiras morrem, atingindo vários bambus em toda uma região.

Outros fatores podem ser atribuídos ao uso reduzido do bambu no setor construtivo. Além da inexistência de mão-de-obra, de maquinário apropriado ao seu beneficiamento e da indisponibilidade de peças manufaturadas ou in natura no mercado da construção, existe ainda a susceptibilidade do material ao ataque de insetos, fungos e a exposição ao meio.

De acordo com Liese (1987) a durabilidade dos colmos depende das condições climáticas e do ambiente onde ele é utilizado. Bambus não tratados, expostos ao tempo e em contato com o solo, podem durar em média de 1 a 3 anos. Das peças protegidas das intempéries, pode-se esperar que durem entre 4 e 7 anos, mas em condições favoráveis, os bambus podem permanecer em bom estado de conservação por em média 10 a 15 anos.

Entretanto, a figura 41 indica o emprego do bambu no que seja, talvez, a construção mais antiga em Manizales na Colômbia. De acordo com López (2003) a residência construída com *Guadua angustifolia* em 1890, supera as expectativas quanto à durabilidade do material no que se refere às construções com bambu.



Figura 41: Antiga construção de bambu em bom estado de conservação.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p.371.

Assim, torna-se evidente a necessidade em produzir tecnologias aplicáveis ao uso do bambu. Para tanto, é imprescindível o cultivo de espécies que sejam adequadas à construção civil, com a implementação de estratégias que considerem toda a cadeia produtiva do bambu, desde o plantio até o consumidor final do produto, agregando valor a esta espécie vegetal de forma que seja possível aproveitar todo o seu potencial.

Almeida (2006) ressalta que algumas providências como: uma legislação sobre patentes, proteção de espécies estratégicas, incentivos fiscais e, principalmente, um modelo de desenvolvimento do bambu no país, que leve em conta as suas peculiaridades, precisam ser tomadas.

Ainda que sejam muitas as dificuldades, a divulgação dos conhecimentos, técnico e científico, associados ao uso continuado do bambu, podem criar condições para instaurar uma cultura construtiva a partir deste ativo ambiental.

Estimular a utilização de materiais renováveis como o bambu, além de preservar o meio ambiente, tem um potencial que contribui para o desenvolvimento econômico do País. Neste sentido, ele é cada vez mais percebido nos países em desenvolvimento, como Costa Rica, Equador e Colômbia, que o utilizam desde os pequenos utensílios até em programas habitacionais, ressaltando sua importância econômica e versatilidade de usos.

Na opinião de Sartori (2006, p.145)

A vocação do bambu, como material de bom desempenho construtivo e de fácil aplicação, resulta em um sistema que atinge ganhos ambientais marcantes, com uma vertente tecnológica importante, e principalmente que propõe um resgate social real, com aumento na qualidade de vida da população envolvida, com a geração de postos de trabalho e a melhoria da qualidade de moradia. (...) As possibilidades de incremento de trabalho, novas atividades econômicas, tecnologia e inclusão social apresentam grandes perspectivas de efetividade em um processo de ação sistêmica para o desenvolvimento econômico e social.

Novas perspectivas apresentam alterações significativas. Como o interesse pelo uso do bambu no Brasil é crescente, algumas instituições como as universidades públicas, fundações, centros de estudos, associações e inúmeras outras se destinam a pesquisá-lo e a capacitar pessoas, no intuito de divulgar suas potencialidades tecnológicas, bem como para evitar que ele seja aplicado de forma equivocada.

Neste aspecto, a REDEBAMBU⁵, uma organização social de natureza pública, constituída por um conjunto de meios e de ações estratégicas, voltados para a articulação de esforços, para a gestão de projetos de pesquisa, desenvolvimento, ciência e tecnologia, está em vias de se instituir efetivamente numa rede, com diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva do bambu. A partir disto, as

⁵ A REDEBAMBU é uma iniciativa, em estruturação, de diferentes segmentos envolvidos e interessados na cultura e na difusão do bambu, objetivando a articulação e a convergência a nível nacional, por meio de projetos e outras ações cooperativas e consorciadas. (ALMEIDA, 2006).

pesquisas e demais atividades que envolvem o uso do bambu poderão ser mais facilmente acessadas e poderão divulgar os aspectos técnicos e científicos presentes no universo desta planta.

Baseados nos estudos sobre seu potencial, nas iniciativas e crescente interesse pelo uso do bambu em nosso País, acredita-se que, muito brevemente, esse material terá uma participação significativa no setor construtivo nacional.

Considerando todos os conceitos e características apresentadas sobre sistemas construtivos e, principalmente sobre o bambu, o capítulo seguinte discorrerá sobre o Estado da Arte dos sistemas construtivos que utilizam o bambu sob forma de ripas laminadas, assunto de fundamental importância para o desenvolvimento desta dissertação.

1.4. O ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM RIPAS LAMINADAS DE BAMBU

1.4.1 O SURGIMENTO DO SISTEMA LAMINADO

Antes de abordar o uso das ripas laminadas em bambu, é importante compreender que as estruturas laminadas surgiram, primeiramente, com o uso da madeira e posteriormente foram aplicadas ao uso do bambu.

Tais estruturas são constituídas pela sobreposição de lâminas de comprimentos variáveis unidos face-a-face por meio de encaixes, parafusos ou adesivos.

As estruturas de madeiras laminadas coladas foram concebidas na Alemanha em 1905, pelo carpinteiro alemão Otto Hetzer e popularizaram-se na Europa como “estruturas Hetzer” (figura 42). Compostas de vigas, arcos e pórticos de secção retangular ou em duplo ‘T’, as estruturas Hetzer eram constituídas, em princípio, de tábuas justapostas e coladas entre si. (CALLIA, 1958)



Figura 42: Estrutura Hertzler.
Fonte: www.gebr-schuett.de/hetzer.

O intenso uso do sistema Hetzer pelos Estados Unidos a partir de 1935, segundo Callia (1958), promoveu a industrialização das madeiras e colas e a melhoria dos processos de produção, estimulando a normalização das estruturas laminadas coladas como produto industrial.

No Brasil, essas estruturas laminadas coladas foram bastante empregadas entre as décadas de 1920 a 1960, quando houve uma intensa produção da

construção civil. O ramo das empresas que tinha sua produção voltada para a construção de estruturas de madeira se expandiu, sendo muitas delas fundadas por engenheiros e/ou carpinteiros de origem européia. Estes imigrantes foram responsáveis pela introdução de novos sistemas construtivos no Brasil, entre eles o sistema laminado. (FERREIRA, 2000)

Esses sistemas possibilitaram desfrutar de todas as vantagens da madeira, sendo composto por lâminas unidas por sobreposição, tais sistemas permitem a escolha criteriosa das peças e a eliminação das deficiências da madeira. Esse processo torna as vigas mais homogêneas e evita a tendência ao fendilhamento, uma vez que as tensões geradas por uma lâmina são contraídas e absorvidas pelas outras. Sendo assim, é possível obter elementos com características superiores, com a utilização de encaixes ou adesivos de elevada resistência e durabilidade, aos que se obteriam com uma peça maciça de madeira de igual secção.

Nahuz (2002) considera que, respeitando-se as características da madeira, com relação às suas propriedades, vantagens e limitações, a madeira laminada tem se prestado, admiravelmente bem, ao uso como material de construção, especialmente, na forma de tábuas, pontaletes, vigotas, caibros e ripas.

É também possível com a técnica dos laminados obter elementos de grandes dimensões e harmonia de formas, que com a madeira maciça seriam impensáveis, como pode ser observado na figura 43. A sensação de conforto, aliada ao aspecto agradável da madeira conduzem a construções com qualidade estética e de um equilíbrio nunca conseguido com outros materiais.



Figura 43: Vigas laminadas de madeira.
Fonte: www.industrialebertaini.it.

Como outra vantagem, os laminados colados de madeira possuem uma relativa imunidade ao ataque de organismos xilófagos (organismos que degradam a madeira), em grande parte devido às colas utilizadas, que são normalmente possuidoras de toxinas. Existe ainda, a impregnação de produtos preservadores que fazem parte da sua tecnologia.

Contudo, a escassez de madeiras nativas para a construção civil, seja em consequência do alto preço ou de pressões ambientais, faz com que o mercado busque substituir estas espécies por outras mais abundantes, disponíveis e a preços competitivos. Tais características são encontradas no bambu, que além de seu rápido crescimento, seu uso é favorável à conservação do meio-ambiente.

Os produtos industriais derivados do bambu como, por exemplo, o MDF, o OSB e o *Plyboo* possibilitam a substituição corrente das madeiras. Assim, o emprego industrial dessa matéria-prima com a oferta da chamada madeira ecológica pode concorrer para evitar o desmatamento das florestas tropicais. (ALMEIDA, 2006)

1.4.2 O USO DAS RIPAS LAMINADAS DE BAMBU

Historicamente, o bambu tem acompanhado o ser humano fornecendo alimento, abrigo, ferramentas, utensílios e uma infinidade de outros itens. Igualmente importante, ao lado dos usos tradicionais, tem sido o desenvolvimento de usos industriais do bambu. (SASTRY, 1999)

O bambu é um material renovável, de alta produtividade e fácil cultivo, apresentando-se como uma boa alternativa para o setor construtivo, podendo inclusive, ser associado a outros materiais para ser empregado em uma infinidade de propósitos. Porém, o seu formato cilíndrico e as variações dimensionais presentes, numa mesma peça, restringem seu uso em algumas situações em que são exigidas estruturas mais homogêneas.

Da mesma forma que por ser um material heterogêneo em relação a vários aspectos, como altura, conicidade, diâmetro, espessura de parede, cria certas limitações em suas aplicações, devendo ser observadas várias exigências para seu melhor desempenho. (BARBOSA; INO, 1996)

Pode-se atribuir a pouca utilização do bambu, como material na indústria da construção civil, devido, entre outros, à impossibilidade da confecção de peças estruturais com perfis comerciais, como vigas e pilares de seções transversais retangulares. Por não apresentar uma linearidade em seus colmos, ou seja, com seções irregulares em toda estrutura, o seu uso em soluções retilíneas torna-se difícil.

Outro problema com o formato dos colmos do bambu reside na dificuldade em ajustar os encaixes das conexões entre as peças. Em bambus com diâmetros diferentes, as ligações não se ajustam, dificultando as uniões e tornando-as pouco eficientes.

Compartilham da mesma opinião Barbosa e Ino (1996), que, para a utilização de peças basicamente encaixadas, a dificuldade relaciona-se com a compatibilização do diâmetro entre as peças. Pode-se observar que quando a peça entalhada, apresentada de forma entalhada, possui diâmetro excessivamente maior que a peça roliça, a ligação torna-se instável pela tendência de rotação entre elas (Figura 44a). Por outro lado, quando a peça entalhada possui um diâmetro consideravelmente menor que a roliça, a carga aplicada, na extremidade da peça entalhada, sofrerá fissuras (Figura 44b).

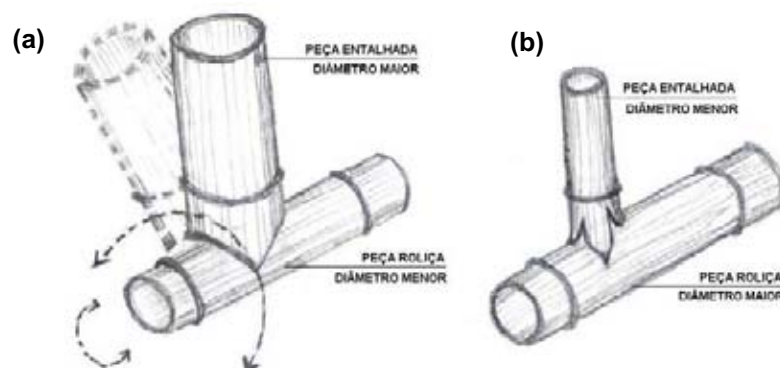


Figura 44: (a) Tendência de rotação pela diferença de diâmetro entre as peças.
(b) Tendência de fendilhamento pela diferença de diâmetro entre as peças.
Fonte: Desenhos da autora.

Diante dessas considerações e das demais anteriormente citadas, é que se justifica o uso das ripas de bambu, na construção, pois a constituição de seu colmo permite que ele seja de fácil corte e fracionamento. Dessa maneira, é possível um aproveitamento mais racional do bambu que pode ser mais eficiente em forma de lâminas, possibilitando grande diversidade de usos, em estruturas, pisos, paredes, telhados, dentre outros.

A figura 45 esquemática a seguir, apresenta o modo de obtenção das ripas e lâminas.

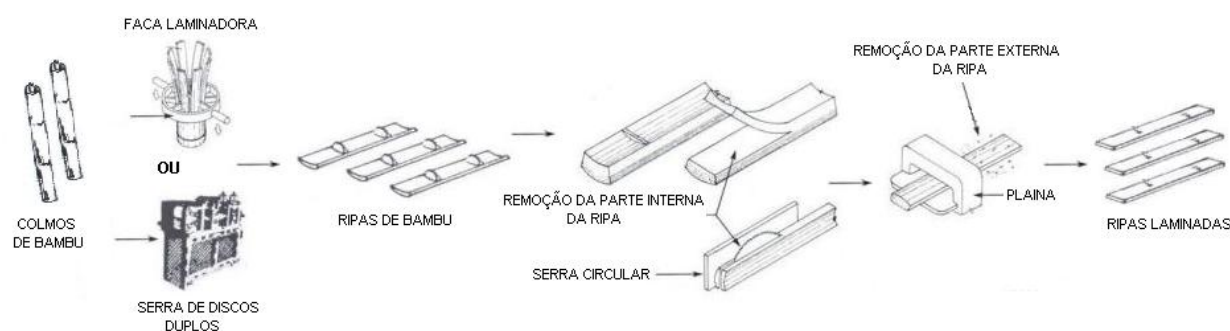


Figura 45: Modo de produção das lâminas.
Fonte: Adaptado de López, 2003.

Dentre as várias referências pesquisadas, observou-se a diversidade de nomenclatura encontrada para um mesmo produto, tais como: bambu serrado, ripas, ripas laminadas, lâminas, taliscas e lamelas. Para a melhor compreensão do exposto, será usado o termo ‘ripas’ para determinar as lâminas que mantêm a casca em sua estrutura e o termo ‘ripas laminadas’, assim como ‘lâminas’ para aquelas que ao serem processadas as retiraram.

Stamm (2002) observa que devido ao interesse dos consumidores, maquinário existente e produtos provenientes das madeiras maciças, daqui pra frente todos nós teremos que nos acostumar com o termo “bambu maciço” ou como no Inglês “*bamboo timber*”, pois este é o futuro do material.

Do ponto de vista relacionado à durabilidade física do bambu, basta que os cuidados com o seu corte, secagem e manutenção dos elementos sejam corretas, principalmente, com relação à cura do material, a fim de reduzir a porcentagem de seiva existente, minimizando assim o risco de ataque por organismos danosos à

planta. É importante colocar que os profissionais devem ter o pleno conhecimento dos tipos de elementos da construção que podem ser realizados em bambu, para que o edifício possa apresentar um comportamento de longevidade.

Para obter um bom produto final das ripas de bambu, Stamm (2002) recomenda um bom controle de qualidade em cada passo da produção e classificar as ripas extraídas nos itens: comprimento, largura, espessura, qualidade de acabamento, cor, medida e secagem.

O autor coloca ainda, devido a variação dimensional provocada pela secagem do material, 5% no sentido tangencial e 10% no sentido radial é preciso que as ripas estejam secas antes de passar pelo acabamento final. Em sua pesquisa, ele relata que uma ripa de *Guadua* de 4cm x 1cm, retirada de um bambu, ainda verde, perde 2mm de largura e 2mm de espessura, quando seca naturalmente.

Com relação ao maquinário necessário para a extração das ripas, Stamm (2002) explica a facilidade com que podem ser fabricadas. A maior parte das fábricas chinesas utiliza uma serra elétrica com discos duplos de tungstênio paralelos, que se constroem facilmente, adaptando-se uma serra de mesa encontrada em todas as carpintarias. A vantagem dessa máquina, além de acessível, pode ser utilizada em sistema de pré-fabricação, descentralizada, voltada às pequenas comunidades e fábricas. Com essa máquina, Stamm calcula que se cada bambu produz em média, de 5 a 10 ripas, a produção pode girar em torno de 60 ripas por hora. Isso em 8 horas de trabalho se transforma em 480 ripas por dia.

É importante colocar que, para a maximização da utilização do bambu, torna-se necessário um conhecimento adequado de suas propriedades físicas e mecânicas. Alguns estudos demonstraram que elas variam em função da espécie, das condições climáticas, cultivo, estação de colheita, idade de corte, teor de umidade, posição da amostra com relação à altura do colmo, presença ou ausência de nós e condição fitossanitária. (LEE *et al.*, 1994).

Entretanto, Beraldo (1987) menciona a dificuldade existente para determinar tais propriedades dos bambus, em razão da inexistência de normas específicas para os ensaios. As pesquisas ainda se baseiam nas normas da ABNT para madeira,

porém o autor esclarece que as propriedades anatômicas entre tais materiais são muito distintas, não sendo possível obter determinadas proporções entre os elementos constituintes do bambu.

Atualmente, as informações encontradas em nosso meio sobre as características de resistência mecânica do bambu, na forma de material laminado, são pouco acessíveis. Mesmo com o crescente interesse pelo material, as ferramentas e máquinas adequadas, exclusivamente, ao seu beneficiamento também são escassas em nosso País, ou como na maioria dos casos, são produtos de adaptações dos instrumentos de trabalho das marcenarias.

Na determinação de características de resistência mecânicas de colmos processados na forma de ripas laminadas, Pereira (2006) utilizou colmos com 3,5 anos de idade da espécie *Dendrocalamus giganteus* cultivados na Unesp/Bauru. Os bambus foram processados para a obtenção de ripas laminadas, da região mais próxima possível da casca e subdivididos em função da posição no colmo (figura 46), produzindo amostras com ou sem a presença de nós. Também foram fixadas as dimensões das ripas (20mm x 6mm x 50mm) e o corpos-de-prova basearam-se nas normas de madeira e de chapa de madeira compensada.

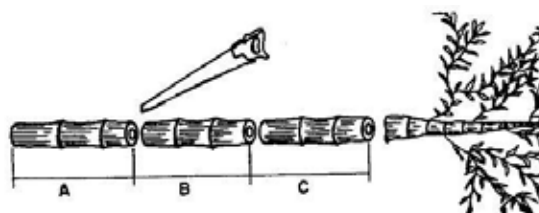


Figura 46: Região basal (A), média (B) e apical (C) do colmo.
Fonte: PEREIRA, 2006, p.94.

Como resultado dos ensaios (compressão paralela, tração paralela e flexão estática), o autor observou que do ponto de vista prático e de aproveitamento tecnológico do colmo, é possível considerar que as três regiões estudadas (região A, B e C) e processadas da mesma maneira, podem ser utilizadas, conjuntamente, pois houve pouca variação em relação às características mecânicas entre essas três regiões, como pode ser observado na tabela 09, que resume os valores médios obtidos para as características de resistência e módulo de elasticidade longitudinal das ripas laminadas considerando o colmo inteiro.

Tabela 09: Características mecânicas das ripas laminadas e massa específica considerando o colmo inteiro (regiões A, B e C).

	Sem Nó			Com Nó		
	f_o (MPa)	E_o (Gpa)	U (%)	f_o (MPa)	E_o (Gpa)	U (%)
Tração	245,4	20,5	12,0	111,9	18,3	11,9
Flexão	167,0	15,6	11,9	112,1	12,3	11,9
Compressão	70,3	2,9	11,9	63,4	3,3	11,9

(Fonte: PEREIRA, 2006, p. 101)

Segundo a pesquisa, todas as características mecânicas de resistência e módulo de elasticidade sofreram uma diminuição com a presença do nó (exceto para o módulo de elasticidade à compressão), concluindo que a presença do nó é um ponto fraco e diminui a resistência das ripas.

1.4.2.1 Aplicação das ripas laminadas de bambu:

As atividades descritas, a seguir, fazem parte de trabalhos com a aplicação das ripas e lâminas de bambu, em alguns casos, no desenvolvimento de protótipos, enfatizando o importante exercício da experimentação e em outros, para a produção de elementos estruturais empregados na confecção de móveis e na construção civil.

O Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais – CPAB (2006) desenvolveu um protótipo de uma calota achatada de bambu ripado de uma variedade de Basília, o *Pyllostachys bambusoide*, compondo em malha retangular quadrada. O estudo, ainda em desenvolvimento, tem como finalidade verificar a viabilidade das ripas aplicadas em cúpulas estruturais (figura 47).



Figura 47: Protótipo da calota achatada de bambu ripado em malha retangular quadrada.
Fonte: Foto da autora.

López (2003) também utilizou as ripas de bambu laminado para produzir as peças usadas, na construção de uma cúpula, baseadas no modelo de estruturas geodésicas desenhada por Fuller e Sadao. O sistema construtivo propõe o uso de elementos padrão, nesse caso as peças de bambu de laminado, que possam ser montadas facilmente para formar a estrutura, conforme a figura 48.

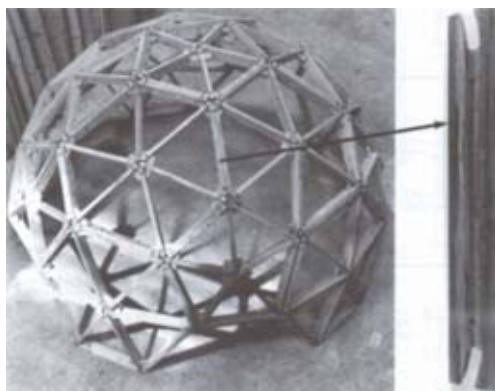


Figura 48: Estrutura geodésica em bambu laminado e a peça laminada que a compõe.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 332.

Outra possibilidade pode ser vista na figura 49, em que a estrutura foi feita com ripas laminadas unidas com pinos de bambu e amarradas com fibras de palmeira. Esse sistema foi utilizado para uma mesquita construída em Jakarta, Indonésia em 1971 para o Internacional Subud World Congress. (GATE *apud* Lopez, 2003).

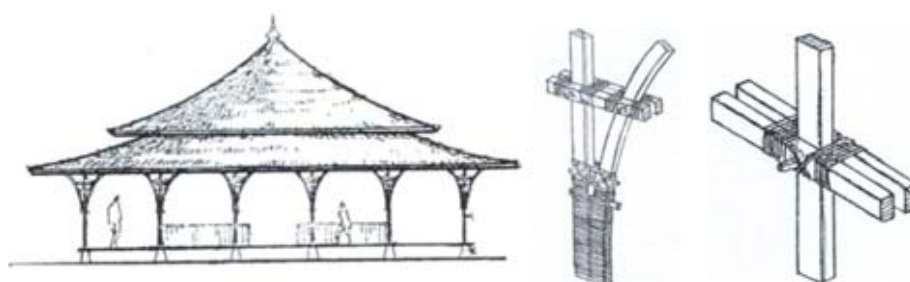


Figura 49: Fachada da mesquita e os detalhes da uniões das lâminas.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 305, 306.

Carvajal (*et al. apud* López, 2003) estudou o uso das ripas para produzir treliças de banzos paralelos do tipo *Warren*, confeccionadas com bambus da espécie *Guadua angustifolia*. Os elementos estruturais foram fixados com parafusos, formando uma treliça com 3 metros de vão, própria para coberturas leves, como as telhas onduladas. Esse sistema construtivo oferece muitas possibilidades de uso,

sendo inclusive leve, barato e facilmente montado. Verificadas, experimentalmente, duas treliças colocadas lado a lado suportaram o peso de dois homens adultos (150Kg), apresentando uma deformação muito pequena, constatando sua resistência, como pode ser observado na figura 50:

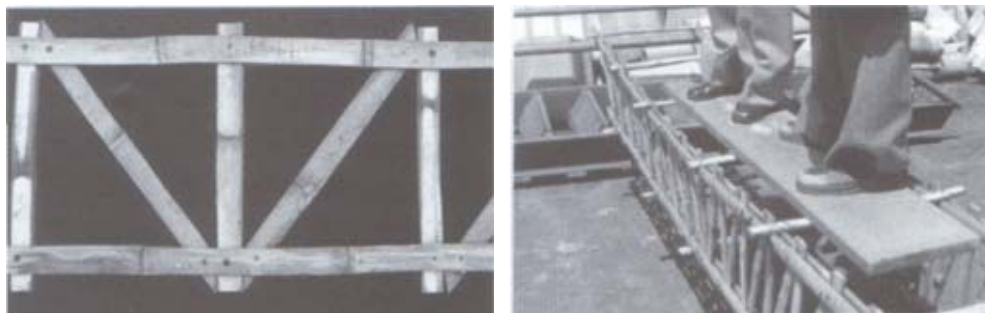


Figura 50: Treliça de banzos paralelos feitas de ripas de bambu.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 299.

Utilizando o mesmo sistema, Carrasco (*et al. apud* López, 2003) estudou as treliças tridimensionais (figura 51), unindo as treliças de banzos paralelos com parafusos e arames de aço galvanizado. A junção de várias treliças tridimensionais pode ser usada em estruturas espaciais e em coberturas de telhas de alumínio. Os autores recomendaram o uso de bambus maduros, com 3 anos de idade ou mais, bem como o uso das ripas retiradas da porção média do colmo, local de maior resistência do bambu.

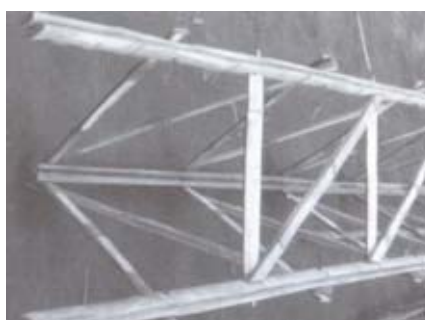


Figura 51: Treliça tridimensional de ripas de bambu.
Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 300.

O Aeroporto Internacional de Barajas, projetado pelo arquiteto Richard Rogers, possui uma cobertura curvilínea de estrutura de aço e chapas de alumínio, forrada com ripas laminadas de bambu (figura 52), que dão um aspecto agradável

ao ambiente, além de permitir a passagem de luz natural em alguns pontos do terminal.



Figura 52: Forro de ripas laminadas do Aeroporto Internacional de Barajas/ Espanha.
Fonte: www.rsh-p.com.

No Brasil, as estruturas com ripas têm sido cada vez mais usadas. O Instituto do Bambu construiu em Juvenópolis/AL uma casa popular, projetada por Sartori e Cardoso Jr, combinando paredes de bahareque oco e tesouras de bambu ripado (figura 53a). Da mesma forma, a EMBAMBU em Goiânia/GO, está utilizando as treliças de ripas de bambu para a cobertura dos galpões de sua nova sede (figura 53b).

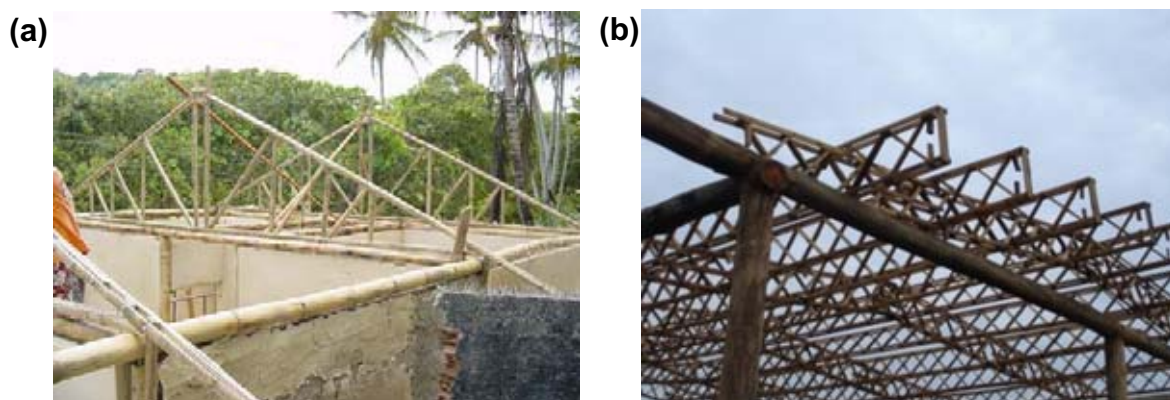


Figura 53: (a) Tesouras em ripas de bambu em Juvenópolis e (b) Treliças em ripas de bambu dos galpões da nova sede da EMBAMBU.

Fonte: (a) CD-ROM cedido por SARTORI e (b) Foto da autora.

Vasconcellos (2003) propôs o uso das ripas laminadas como elementos estruturais para confecção de uma linha de móveis, tais como: camas, mesas

cadeiras e cabideiros, desenvolvendo inicialmente uma cama com as ripas laminadas da espécie *Bambusa vulgaris*.

As dificuldades encontradas para a execução da cama (figura 54a) se deram principalmente, em função da irregularidade dos colmos da espécie escolhida, tornando o processo de produção e a colagem das ripas, muito trabalhosos. Com esta irregularidade presente, nas ripas laminadas, o adesivo não se fixou, pois não havia uma superfície de contato plana entre elas, sendo necessário o auxílio de parafusos para corrigir o problema (figura 54b).

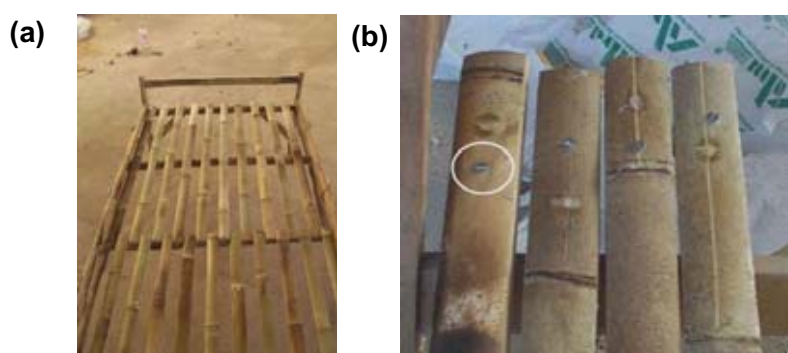


Figura 54: (a) Cama de ripas laminadas de *Bambusa vulgaris* e (b) Uso de parafusos de rosca soberba para manter as ripas coladas.

Fonte: VASCONCELLOS, 2003, p. 13 e p. 04.

Mesmo assim, as ripas duplas obtidas eram de boa qualidade, dimensionadas com 42 mm por 30 mm (largura e espessura) e até 120 cm de comprimento. Verificadas, experimentalmente, quanto à sua resistência à flexão, uma ripa dupla colada e aparafusada suportou o peso de dois homens adultos.

Muito embora, a cama tenha alcançado resultados satisfatórios e se apresentado como um móvel leve e resistente, para a sua produção e dos demais mobiliários, o autor considerou necessário controlar a qualidade do material, desde o manejo, até o produto final, a fim de agregar mais qualidade ao produto e tornar o modo de produção mais eficiente. E ressaltou que esse processo é viável em um contexto de fabricação seriada, com mão-de-obra e infra-estrutura adequadas ao beneficiamento dos bambus.

Diante do exposto, as estruturas ripadas e laminadas de bambu podem apresentar um bom desempenho como alternativa sustentável e tecnológica para

construção civil. Promovendo assim, o uso racional de um material de grande potencialidade, de fácil fabricação e execução, bem como, de baixo consumo energético.

1.4.3 O USO DOS LAMINADOS COLADOS DE BAMBU

A facilidade de fracionamento dos colmos do bambu, no sentido longitudinal, amplia as suas possibilidades de uso e permite o controle sobre as suas propriedades. Com o processo de laminação é possível selecionar as ripas conforme suas características físicas e mecânicas visando destiná-las para a melhor aplicação, maximizando o desempenho de produtos como as lâminas, laminados colados, folhas, tiras, placas, compensados, aglomerados, entre outros, que servirão de matéria-prima para outros fins.

A escassez dos recursos florestais tem aumentado o interesse por materiais renováveis e de baixo custo como o bambu, com diversas aplicações. Produtos à base do laminado de bambu, tais como pisos, chapas, painéis, cabos de ferramentas, compensados, móveis, componentes da construção civil, entre outros, são passíveis de exploração através do processamento do colmo, como pode ser observado na figura 55.



Figura 55: Produtos de bambu laminado colado.
Fonte: www.conbam.de.

O *Plyboo* ou *Plybamboo* é o uso industrial mais comum dos laminados de bambu. Assim como o *Plywood* (compensado de madeira laminada), o compensado de bambu é composto por camadas coladas alternadamente uma sobre as outras formando ângulos retos (figura 56).



Figura 56: Compensado de bambu laminado (*Plyboo*).
Fonte: Marcos Pereira (*apud* MÓIZES, 2007, p.51).

O *Plyboo*, segundo López (2003), divide-se em dois grupos: Os não-estruturais que são compostos por camadas finas e pouco resistentes, conseqüentemente, só podem ser utilizados para fins decorativos. E os estruturais constituídos por camadas mais espessas de bambu e lâminas mais resistentes, conferindo a esse tipo de compensado propriedades mecânicas superiores aos produzidos em madeira, com ele são fabricados painéis de vedação, perfis de vigas, pisos e plataformas.

Existem algumas experiências, na produção do *Plyboo* em lugares como, por exemplo, a Colômbia. Embora o mais conhecido com essa tecnologia, sejam os pisos produzidos há mais de 20 anos na China (figura 57), que durante a trajetória do melhoramento da qualidade e eficiência dos produtos laminados, foi possível observar a produção de uma variedade de máquinas e técnicas de processamento especializado para a produção dos laminados de alto padrão de acabamento. (STAMM, 2002)



Figura 57: Fábrica de pisos laminados colados de bambu na China.
Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007 – CD-ROM.

Semelhante a essa tecnologia, o bambu laminado colado⁶ (BLC) é produzido da mesma forma que o *Plyboo*, porém o que os difere, é a maneira como são orientadas as fibras das lâminas, que no caso do BLC, são coladas umas as outras e orientadas na mesma direção. Essa indústria se desenvolve, principalmente, em países asiáticos como as Filipinas, China, Índia e Indonésia. Ultimamente, a indústria do BLC tem atingido países da América Latina, como o Equador, Costa Rica e Colômbia, onde utilizam a *Guadua angustifolia kunt* e a tecnologia produzida pela Ásia.

A tecnologia do bambu laminado, basicamente, elimina os problemas de cisalhamento e geometria, permitindo que esse material tenha utilização mais racional na engenharia estrutural. Além disso, podem ser ponderadas outras vantagens quanto ao uso desse tipo de estrutura, como por exemplo, a industrialização das construções, a facilidade e agilidade da montagem das estruturas, e sua execução requer mão-de-obra de fácil treinamento.

Quanto ao processo de fabricação das lâminas observado em uma indústria moveleira de médio porte chinesa, Almeida (2006, p.160) relata que:

O processo de laminação do bambu é resultado de uma combinação de processo mecânico e artesanal. A colagem das ripas de bambu com bambu e de bambu com madeira é feita artesanalmente, já a prensagem mecanicamente e os cortes e laminação industrialmente. Utiliza-se prensa manual à quente e grampos do tipo sargento. Na fabricação e montagem do móvel, os cortes dos blocos e chapas de bambu colado são realizados numa marcenaria. O acabamento do móvel segue o mesmo processo de móveis convencionais de madeira, com lixamentos e aplicação de seladoras, vernizes, entre outros.

Cabe ressaltar que essa é uma das maneiras de produção dos laminados, existindo ainda produções totalmente artesanais ou totalmente industrializadas.

Em comparação ao bambu em estado natural, os laminados colados apresentam as vantagens do aproveitamento de peças de pequena dimensão, além de constituírem um material mais homogêneo onde os defeitos podem ser removidos juntos com as protuberâncias provocadas pela presença de nós.

⁶ Do inglês: *Glued laminated bamboo*.

E mais, com os bambus laminados podem ser fabricados todos os tipos de estruturas que são construídas em madeira, podendo assim produzir os mais diversos modelos desejados, inclusive superfícies planas e regulares. O processo depende de fornecimento adequado de matéria-prima, que consiste em: quantidade, qualidade do manejo, qualidade dos colmos selecionados (regularidade, diâmetro e espessura), qualidade do corte, qualidade do pré-tratamento e secagem. (VASCONCELLOS, 2003).

Carrasco (*et. al.*,1995) aponta ainda outros fatores determinantes na produção dos laminados colados, tais como a espécie e a resistência do material utilizado, a quantidade de nós, a direção das fibras, a espessura e o número de lâminas, a quantidade e posição das lâminas, módulo de elasticidade, a dimensão e distribuição de tensões na peça e, principalmente, as emendas longitudinais e laterais nas lâminas, que por representarem uma descontinuidade das mesmas, exercem influência na resistência de uma peça laminada colada. Segundo Melo (2005), as emendas mais comuns são: em cunha simples (*scarf joints*), de topo (*top joints*) e dentadas (*finger joints*), demonstradas na figura 58:

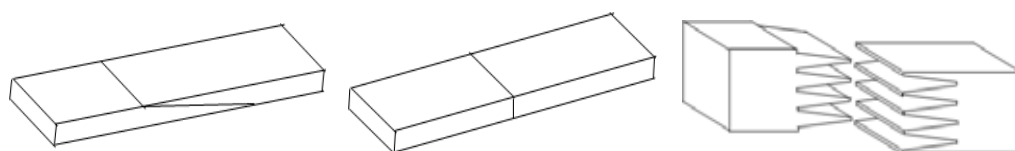


Figura 58: Emendas: em cunha simples, de topo e dentadas respectivamente.
Fonte: Adaptado de MELO, 2005.

De fato, o bambu apresenta um grande potencial econômico, além de ser ecologicamente viável e de fácil manejo, sendo ainda, um recurso abundante em regiões tropicais e subtropicais, que permite a substituição de materiais convencionais, representando um grande avanço para indústria da construção civil, sem contar os ganhos ambientais.

As pesquisas, com o bambu na forma de laminados de maneira geral, ainda são muito recentes, por isso, utilizam-se as normas referentes ao uso da madeira, fazendo-se as devidas adaptações quando necessário.

Rivero (2003) determinou as características físico-mecânicas do contraplacado (CPB) e do Bambu Laminado Colado (BLC) através de ensaios não destrutivos por ultra-som e ensaios destrutivos (flexão estática, compressão simples e cisalhamento), juntamente com a análise de dois tipos de adesivos: um à base de uréia-formol e outro à base de resorcinol-formol. Os resultados apontaram que o BLC produzido, à base de resorcinol-formol, mostrou resistência adequada para a confecção de objetos sujeitos aos impactos moderados, assim como o CPB, com adesivo à base de uréia-formol, foi indicado para a indústria moveleira.

No mesmo sentido, enfocando somente o BLC, Beraldo e Rivero (2003) completam que esse pode ser considerado um material leve em comparação a outros materiais de construção, com massa específica aparente situada na faixa de $0,50 \text{ g/cm}^3$ a $0,75 \text{ g/cm}^3$. E que mesmo não sendo possível evidenciar a melhor combinação entre as variáveis testadas (espécies de bambu, tipos de tratamentos e adesivos), os ensaios demonstraram a influência dessas variáveis e de suas interações nas propriedades do BLC.

O estudo desenvolvido por Carrasco (*et al*, 1995), adaptando a metodologia aplicada à madeira laminada colada, determinou as características físico-mecânicas dos bambus laminados colados por meio de ensaios de cisalhamento da ligação adesiva bambu-bambu, ensaios de compressão e de flexão simples em vigas retas. A pesquisa envolveu bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus*, escolhida por suas propriedades físicas e mecânicas e também por sua compatibilidade ao adesivo usado, uma resina a base de resorcinol, comercialmente conhecido como Cascophen.

A pesquisa concluiu que a ligação adesiva bambu-bambu pode ser considerada como estrutural uma vez que o cisalhamento ocorreu, em todos os casos, no bambu e não no adesivo. Quanto às solicitações aos esforços de flexão e compressão, os resultados obtidos foram satisfatórios, comprovando a eficiência do material.

Gonçalves *et. al.* (2000) realizaram ensaios utilizando amostras de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* em forma de bambu serrado⁷ e de laminados colados (figura 59) para a obtenção de dados a respeito das propriedades de resistência mecânica do bambu, tais como sua resistência à tração, compressão, cisalhamento e flexão.



Figura 59: Amostras de bambu para ensaio de resistência mecânica.
Fonte: GONÇALVES *et. al.*, 2000, p.02.

As amostras foram confeccionadas de acordo com a Norma Brasileira para madeira NBR 7190:1997 e demonstraram bons resultados a partir dos valores obtidos, resumidos na tabela 10, indicando a possibilidade da aplicação das ripas laminadas e dos laminados colados para diversos fins e da utilização dessa mesma metodologia para a confecção dos corpos-de-prova para futuros ensaios.

Tabela 10: Valores médios obtidos nos diversos ensaios de resistência mecânica das amostras de bambu laminado colado e de bambu serrado em forma de ripa.

BAMBU LAMINADO COLADO		BAMBU SERRADO	
Ensaio	Resistência (MPa)	Ensaio	Resistência (MPa)
Dureza	352	Compressão Paralela as Fibras (amostra reduzida da Norma NB)	89
Compressão Paralela as Fibras	55		
Compressão Normal as Fibras	18	Tração Paralela as Fibras	161
Tração Paralela as Fibras	195	Flexão (amostra reduzida da Norma NB)	298
Tração Normal as Fibras	2,5		
Cisalhamento	10	Resistência ao Impacto na Flexão - Tenacidade	137 KJ/m ²
Flexão	166		

(Fonte: GONÇALVES *et. al.*, 2000, p.03)

⁷ Conforme indicado na página 82, o termo ' bambu serrado' utilizado pelo autor, corresponde às ripas que mantiveram a casca em sua estrutura.

Pereira (*apud* PEREIRA; BERALDO, 2007) realizou um estudo sobre bambus laminados colados (BLC) da espécie *Dendrocalamus giganteus* cultivados no campus da Unesp/Bauru. As ripas laminadas para confecção dos corpos-de-prova foram retiradas de colmos com três anos de idade e o mais próximo possível da casca, por ser esta a região mais rica em fibras (figura 60). Suas dimensões foram fixadas entre 5 e 6mm de espessura por 20mm de largura.

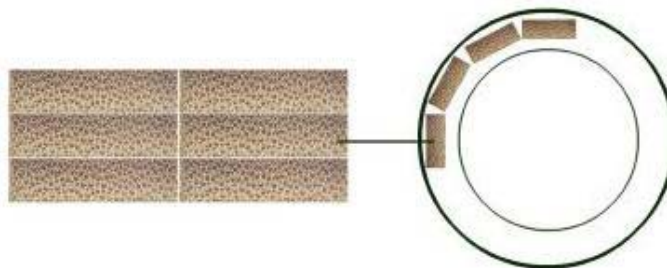


Figura 60: Esquema de retirada das ripas observado da seção transversal.
Fonte: MÓIZES, 2007, p.37.

As ripas laminadas foram prensadas a frio com o adesivo polivinílico Cascorez 2590 durante 6 horas, com pressão de 1,5 MPa controlada por meio de um torquímetro (aparelho que confere a pressão aplicada ao material). Após 24 horas de cura os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de massa específica, tração paralela, compressão paralela e flexão estática, adaptados à NBR 7190:1997 para madeiras. Os resultados obtidos nos ensaios realizados pelo autor são apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Características mecânicas do bambu laminado colado (BLC).

	f₀ (MPa)	E₀ (Gpa)	U (%)
Tração	143,7	20,6	11,2
Flexão	98,9	13,6	11,3
Compressão	65,5	18,1	11,2
ρ (g/cm ³)	0,79		11,0

(Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 187)

Quanto à massa específica aparente do BLC, os valores alcançaram uma média de 0,79 g/cm³, semelhante àquela apresentada por Beraldo e Rivero (2003). Os valores correspondentes a resistência a compressão e a tração paralela às fibras situaram-se próximos dos apresentados por Gonçalves *et. al.* (2000), na tabela 10.

Na tabela 12 pode ser observado o comportamento dos adesivos empregados no estudo, Cascorez 2590 e Waterbond (empresa Alba Química), em relação à tração normal e o cisalhamento na linha de colagem dos laminados.

Tabela 12: Tração normal e cisalhamento na linha de colagem do BLC.

N=16	Tração normal (MPa)	Cisalhamento (MPa)
Cascorez 2590	2,82	8,11
Waterbond	1,62	7,03

(Fonte: PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 193)

Baseado nas pesquisas apresentadas, pôde-se constatar a viabilidade do emprego do bambu laminado colado como elemento estrutural, principalmente no que diz respeito à pré-fabricação desses elementos, uma vez que os dados acima confirmam tais possibilidades. É evidente a necessidade de ampliar o conhecimento acerca do tema, através de novos estudos, proporcionando mais acesso a essa tecnologia, tanto no meio acadêmico quanto no ambiente construído.

Frente a essas considerações, é que esse trabalho propõe o uso das ripas laminadas coladas de bambu, pois mesmo com todas as vantagens que o uso do bambu em sua forma geométrica natural possa oferecer, as ripas de bambu podem ser mais facilmente trabalhadas e utilizadas num processo de pré-fabricação.

Mas, compartilha-se da mesma opinião de Pereira (2001), sobre não pensar o bambu como uma solução exclusiva para os problemas relacionados ao meio ambiente ou a diminuição acentuada da exploração de nossos recursos florestais, considera-se que ele possa ser estudado como uma alternativa a ser explorada, contribuindo para os processos construtivos.

1.4.4 OS ADESIVOS

Da mesma forma que a madeira, o bambu possui características adequadas ao emprego dos adesivos. Fatores como: o aproveitamento de elementos com dimensões variadas, a escolha do adesivo adequado para cada propósito e o controle do processo de obtenção e produção dos elementos colados, abrem enormes possibilidades para o uso do bambu de forma mais racional.

Igualmente vantajoso, é a redução das imperfeições que a técnica dos laminados colados permite, atribuindo valor estético e resistência mecânica superior ao estado original dos materiais.

Quanto à conceituação, os adesivos são compostos químicos naturais (de origem animal e vegetal) ou sintéticos. Com base na definição de Iwakiri (2005), os adesivos podem ser definidos como materiais com propriedades aderentes, ou seja, como uma substância com capacidade de manter unidos outros materiais em suas superfícies.

E podem ser entendidos ainda, como sendo substâncias com propriedades de aderir fortemente a um substrato, mantendo vários substratos de um mesmo material ou de materiais diferentes unidos por meio de uma ligação superficial. (WELLONS *apud* RIVERO, 2003)

Essa propriedade de aderir a um substrato é avaliada por Rivero (2003) como um dos fenômenos mais importantes para a compreensão da formação da ligação adesiva, que pode ser por atração e por adesão química. A adesão por atração ocorre pela interação entre duas superfícies e é causada por um forte campo de forças atrativas provenientes dos constituintes de cada superfície. A adesão química se processa através de ligações chamadas primárias (iônicas, covalentes, coordenadas e metálicas) e através de forças secundárias intermoleculares.

A aderência adequada está diretamente relacionada a um conjunto de fatores que podem ser agrupados de forma genérica em quatro grupos: Características físico-químicas do adesivo, composição e características do aderente, procedimentos empregados na colagem e condições de uso do produto colado. Não

cabe aqui descrever todos os conceitos e processos que esses fatores representam, pois não é esse o objetivo do trabalho. Porém, em se tratando das características do aderente, Carrasco *et al.* (1995) recomenda para se obter uma boa ligação adesiva, tanto para madeira como para o bambu, considerar os seguintes aspectos:

a) A estrutura anatômica, a porosidade, a densidade e os anéis de crescimento (este último para o caso específico da madeira);

b) Anisotropia: manifestada pelas diferenças entre as propriedades físico-mecânicas, medidas ao longo da árvore (ou do bambu), uma característica importante a ser considerada no projeto das ligações;

c) O teor de umidade da madeira e do bambu, pois a durabilidade das ligações adesivas é afetada por mudanças no teor de umidade, que por sua vez, implica em alterações nas dimensões da peça;

d) A resistência a esforços estáticos e dinâmicos;

e) A variação dimensional e distribuição dos nós (no caso do bambu) e;

f) A natureza da superfície a ser colada, rugosidade, textura, capacidade de absorção, etc.

No que diz respeito à classificação, Chugg (1964) divide os adesivos em basicamente dois grupos: os naturais, que incluem os de origem animal (à base de osso, couro, peixe, sangue), os derivados de amido e à base de proteínas, como a caseína e as proteínas vegetais. E os sintéticos, como as resinas fenólicas, o acetato polivinílico (PVA) e o epóxi. Com as resinas sintéticas foi possível a fabricação de estruturas laminadas coladas de melhor qualidade com uniões mais resistentes e duráveis em função das condições ambientes.

Mas, as primeiras substâncias empregadas como adesivos foram, provavelmente a lama e a argila, seguidas pelas ceras e resinas, e posteriormente o uso de substâncias à base de sangue, ovos, caseína, couro e ossos. As resinas e aglutinantes betuminosos já eram utilizados à cerca de 4.000 a.C., e no período dos Faraós já eram conhecidas as aplicações de adesivos à base de caseína e, provavelmente, de animais e amido. (IWAKIRI, 2005)

Com o surgimento das máquinas para o beneficiamento da madeira, seguido pela produção dos painéis compensados, houve o aumento na necessidade do uso dos adesivos. Iwakiri (2005) relata que nesse período ocorreu o desenvolvimento da química de materiais para a produção e o aperfeiçoamento de novos adesivos para a madeira, dando origem a primeira resina sintética, a fenol-formaldeído, em 1929. Seguidamente, foram desenvolvidas as resinas uréia-formaldeído, melanina-formaldeído e a resorcinol-formaldeído, acompanhadas pelo surgimento dos adesivos termoplásticos, como o acetato polivinílico (PVA) e emulsões copolímeras, soluções à base de elastômero, látex, epóxi, entre outros.

Dentre as muitas opções hoje disponíveis para uso, alguns fatores regem a escolha do tipo de adesivo que, segundo Melo (2005) está condicionada pela sua durabilidade (que é a vida útil determinada pelo tempo em que o material mantém suas propriedades em boas condições de uso), pelas condições de exposição ao ambiente, tempo útil de preparação e aplicação do adesivo, rendimento, processo e tempo de cura, cor, eficiência estrutural e custo.

As resinas fenólicas são as mais indicadas para o uso em laminados colados estruturais, como por exemplo, a fenol-formaldeído, que são extremamente duráveis quando expostas em condições de altas temperaturas e umidades e também em altas temperaturas combinadas com variações de umidade. São bastante resistentes a vários solventes, óleos, preservativos e retardantes químicos de fogo. Da mesma forma, a melanina-formaldeído apresenta muita resistência na presença de água e em ambiente úmido, sendo indicada para uso interior e exterior. Porém, devido ao seu alto custo não é comumente utilizada.

Muito resistente também é o adesivo à base de resorcinol-formaldeído que suporta as mais severas condições de exposição, incluindo calor e temperatura. É recomendado, tanto para uso em ambientes internos, como externos e para colagens resistentes à água, solventes orgânicos, fungos e intempéries. Esse adesivo possui a vantagem de poder ser curado em altas temperaturas ou em temperatura ambiente.

Já as resinas, à base de uréia-formaldeído, são mais indicadas para uso interno, pois não resistem à umidade excessiva, nem a colagem submetida a grandes esforços. Pode ser formulada para cura em alta temperatura ou em temperatura ambiente e são muito empregadas na colagem de madeiras em geral, chapas e fabricação de compensados.

Os produtos unidos com adesivos termos-plásticos, como o acetato polivinílico (PVA), e as resinas naturais não resistem a exposições prolongadas em água ou umidade, tampouco podem ser expostos a variações bruscas de temperaturas. Entretanto, se propriamente formulados, esses adesivos são extremamente duráveis em condições normais e em ambientes internos. (LÓPEZ, 2003)

No geral, os adesivos são classificados quanto à sua resistência e condições de exposição. Estas categorias de exposição podem ser definidas como para uso interno aos ambientes ou de uso externo. Desse modo, o emprego de adesivos adequados, conforme a condição do local de uso do produto é de extrema importância para garantir a longevidade da estrutura colada.

Alguns adesivos devem ser usados somente em peças que ficarão protegidas da umidade, produtos químicos, variações bruscas de temperatura e intempéries. Outros tipos possuem poucas limitações e podem ser empregados em estruturas susceptíveis à poluição atmosférica, altas temperaturas, condições úmidas, entre outros. A seguir, o quadro 02, sugere uma classificação dos adesivos quanto às suas origens, usos e condições de exposição:

Quadro 02 – Classificação dos adesivos quanto a origem, uso e condição de exposição:

ADESIVO	BASE	USO	CONDIÇÕES DE USO
Origem animal	Proteínas de peixe, de cartilagem, de osso, de tendões	Carpintaria de móveis	Ambientes internos não agressivos
Sangue	Albumina de sangue	Compensados	Ambientes internos não agressivos
Caseína	Proteína do leite	Móveis, compensados, estruturas	Ambientes internos não agressivos, boa resistência mecânica
Soja	Amido, farinha de soja	Compensados	Ambientes internos e externos, baixa resistência ao intemperismo
Tanino	Acácia, Quebracho	Compensados, aglomerados	Ambientes internos e externos, baixa resistência ao intemperismo
Fenol-formaldeído	Resina termofixa, fenólica.	Compensados, aglomerados	Exteriores, boa resistência mecânica
Uréia-formaldeído	Resina termofixa, fenólica	Compensados, aglomerados	Ambientes internos, boa resistência mecânica
Resorcinol-formaldeído; Fenol-resorcinol-formaldeído	Resina termofixa, fenólica, resorcínica	Compensados, estruturas, madeira laminada	Interiores, exteriores, boa resistência mecânica
Isocianato	Resina termofixa, isocianato, metano	Aglomerados	Interiores
Acetato de polivinil (PVA)	Resina termoplástica	Uso não estrutural	Interiores
Poliuretano/ mamona	Resina termofixa, de mamona	Uso estrutural (indicações preliminares)	Interiores e exteriores, resistente ao intemperismo, boa resistência mecânica (indicação preliminar)
Epóxi	Resina termofixa multicomponente	Reparos estruturais	Exteriores e interiores úmidos, boa resistência mecânica

(Fonte: JESUS *apud* RIVERO, 2003, p.21)

É importante ressaltar que escolha de um adesivo não deve ser feita somente através de suas características relacionadas à sua condição de exposição. Chugg (1964) esclarece que no caso de prédios que abrigam lavanderias, indústrias químicas ou alguma atividade que resulte em elevadas umidades no interior do estabelecimento, por exemplo, seria um erro optar por adesivos classificados como de uso interno. Neste caso, devem ser empregadas as resinas sintéticas para uso externo na colagem das estruturas, pois lugares com essa natureza de trabalho danificam as linhas de cola pouco resistentes à umidade ou a substâncias químicas.

Além disso, como a maioria dos adesivos adere à madeira e ao bambu, López (2003) destaca que para um desempenho satisfatório, algumas considerações devem ser observadas, juntamente, com suas condições de exposição, como as

compatibilidades físicas e químicas entre o adesivo e o aderente, exigências de processamento, propriedades mecânicas, durabilidade, facilidade de uso, coloração e viabilidade econômica.

Da mesma forma que um adesivo empregado na união elementos estruturais, deve permitir que o elemento colado trabalhe como uma estrutura durante todo o tempo planejado para sua vida útil de serviço, resistindo às condições ambientais a que está submetida, bem como ao ataque de fungos e insetos. Nesse sentido, López (2003) destaca que o adesivo usado na produção de peças laminadas para mobiliário é a uréia-formaldeído, mas para a produção de peças laminadas de bambu com fins estruturais deve ser usado o tipo fenol-formaldeído, resorcinol-formaldeído ou epóxi.

Diante do exposto, para a fabricação do sistema construtivo laminado colado de bambu, o adesivo, à base da resina resorcinol-formaldeído, se mostrou o mais indicado para esse fim, pois o adesivo fenol-formaldeído, com resistência semelhante, possui um custo muito elevado em relação ao resorcinol-formaldeído. Já a resina epóxi, mesmo sendo resistente à água e a ambientes úmidos, pode ocorrer a delaminação das peças coladas se houver freqüentes variações de umidade.

A resina resorcinol-formaldeído é indicada para todas as uniões em madeira sob todas as condições de exposição. Possui coloração chocolate ou marrom-avermelhado em forma líquida, com catalisador em pó, que pode ser estocado por tempo indeterminado, ou também com catalisador líquido de consistência viscosa e cor marrom, com estocagem de 12 meses. Esse adesivo é muito empregado na produção de vigas laminadas (*glulam*), em compensados especiais, estruturas, construções navais, instalações portuárias e etc. (CHUGG, 1964)

Sua ação de fixação é por poli-condensação, permitindo um tempo de uso depois de preparada entre 3 e 9 horas, e a montagem das peças deve ocorrer num tempo de até 2 horas a 20°C. Segundo Iwakiri (2005), o tempo de prensagem é muito variável em função da temperatura ambiente como pode ser observado na tabela 13 a seguir:

Tabela 13: Relação entre temperatura ambiente e tempo de prensagem.

Temperatura (°C)	Tempo de prensagem (horas)
20	10 - 14
24	8 - 10
28	6 - 8
32	5 - 6

(Fonte: Manual Técnico – Borden Química *in* Iwakiri, 2005, p.26)

Algumas variáveis são de importância fundamental no processo de colagem e influenciam diretamente na qualidade das ligações. Carrasco *et. al.* (1995) explica que a formação de uma boa linha adesiva depende da compatibilidade entre o material aderente e o adesivo utilizado. Essa união resulta em cinco elementos de ligação: aderente número 1, interface, adesivo, interface e aderente número 2, conforme demonstrados na figura 61.



Figura 61: Elementos de uma ligação.
Fonte: CARRASCO *et. al.*, 1995, p.413.

O processo de colagem de madeiras se inicia com o “derramamento” do adesivo sobre a superfície do substrato, iniciando as fases de “movimento” do adesivo e, se finaliza com a sua “solidificação”, formando “ganchos” ou pontos de “ancoragem” entre duas peças coladas. O grau de adesão depende da intensidade adesiva em cada elemento de ligação, ou seja, dos aderentes, do adesivo e das interfaces. (IWAKIRI, 2005)

Como a colagem é feita pelo contacto direto entre superfícies, suas condições físicas e químicas são de extrema importância para obtenção de ligações eficientes. Melo (2005) recomenda observar cuidadosamente os seguintes procedimentos:

a) Verificação do prazo de validade do adesivo, das condições de estocagem, do preparo e tempo de uso conforme as especificações do fabricante;

- b) As superfícies a serem coladas devem estar perfeitamente planas, esquadrejadas e livres de sujeiras;
- c) O teor de umidade das peças deve estar abaixo de 16%, com variações inferiores a 3%;
- d) O adesivo deve ser espalhado em toda a superfície a ser colada formando uma camada fina, uniforme e completa; e
- e) Os grampos de pressão devem estar uniformemente espaçados assegurando a distribuição de forças ao longo da peça.

Chugg (1964) completa dizendo que as proporções dos componentes misturados para formulação do adesivo devem ser rigorosamente obedecidas, pois acreditar que aumentar a quantidade do catalisador, na fórmula, por exemplo, a fim de acelerar o processo de cura, não só terá o efeito contrário, como reduzirá a eficiência do adesivo.

Considera-se então que os adesivos são essenciais para a produção de peças com variadas formas geométricas a partir do aproveitamento de elementos com diferentes dimensões, resultando no maior controle da estabilidade dimensional e no aumento da resistência mecânica dos componentes.

Mesmo apresentando uma série de vantagens, não há como ignorar que alguns desses adesivos, especialmente os sintéticos, em determinadas fases do processo de colagem podem emitir substâncias tóxicas. Em adição, o fato de que as resinas fenólicas são originadas do petróleo, uma fonte não-renovável, eleva seu custo e não se encaixa no modelo sustentável que visa à conservação dos recursos finitos do planeta.

Entretanto, novas pesquisas apontam o surgimento de adesivos alternativos à base da mamona em substituição às resinas, atualmente, utilizadas na fabricação dos laminados colados de madeira. Rivero (2003) relata que o estudo realizado pela Universidade de São Carlos constatou o bom desempenho do novo adesivo, que comparado ao adesivo do tipo resorcinol-formaldeído apresentou boa resistência às intempéries e baixa emissão de gases tóxicos.

É importante mencionar que a expectativa inicial deste item que abrange o tema 'adesivos' não foi o de servir como referência sobre o assunto em questão. Nesse sentido, recomenda-se aprofundar os estudos sobre os adesivos, bem como, consultar outras referências que melhor contribuam para a compreensão de todos os conceitos e processos que englobem esse assunto.

Assim, fazendo a aproximação de todos os conceitos e opiniões discutidos até o momento na revisão de literatura, os capítulos seguintes propõem o uso dos laminados de bambu para produção de um sistema construtivo modular, utilizando esse recurso de forma racional, em benefício do meio-ambiente e como uma nova alternativa para o aproveitamento econômico do bambu.

1.5. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA: O SISTEMA CONSTRUTIVO

1.5.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE DE BAMBU UTILIZADA: *Dendrocalamus giganteus*

Popularmente conhecido como bambu balde ou gigante, o bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* é de origem asiática, provavelmente de Burma e Tailândia. Este bambu apresenta inúmeras possibilidades de uso, a exemplo da produção de papel, de brotos, móveis, laminados, componentes construtivos, artesanatos, entre outros.

Esta espécie se adapta melhor em regiões tropicais úmidas e subtropicais, suportando temperaturas que variam de -4°C e 25°C. Como pertencem ao grupo dos paquimorfos, seus rizomas são curtos, grossos e sólidos que se desenvolvem periféricamente formando touceiras, o que dificulta a sua extração devido à proximidade entre os colmos. Para o manejo adequado de espécies de grande porte como o *Dendrocalamus giganteus*, Graça (1988) recomenda o plantio de mudas com espaçamento de 10m x 5 m.

Em sua estrutura anatômica, os bambus possuem um conjunto vascular composto, em sua maior parte, por células parenquimáticas que envolvem os feixes fibrovasculares, seguidos por um denso tecido contendo micro-fibras celulósicas chamado de esclerenquima, responsável pela resistência do bambu. Segundo Liese (1987) os colmos são em sua composição formados por 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos condutores, com alguma variação dependendo da espécie. A figura 62 mostra o conjunto vascular do *Dendrocalamus giganteus*.

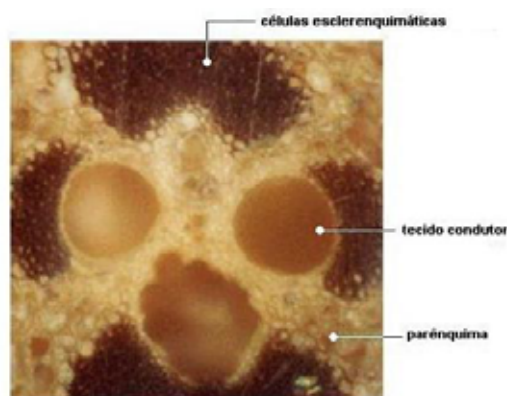


Figura 62: Conjunto vascular do *Dendrocalamus giganteus*.
Fonte: Adaptado de GHAVAMI *et. al.* (2000).

Beraldo e Zoulalian (1995) verificaram a distribuição dos elementos anatômicos das espécies *Phyllostachys viridis* e *Dendrocalamus giganteus*, indicando as diferentes concentrações ao longo das camadas interna, intermediária e externa do colmo. A tabela 14, entretanto, expõe somente os valores do *Dendrocalamus giganteus*, espécie esta utilizada no sistema construtivo desenvolvido.

Tabela 14: Distribuição dos elementos anatômicos ao longo do colmo da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Camada do colmo	Vasos (%)	Fibras (%)	Parênquima (%)
Interna	11	16	73
Intermediária	9	32	59
Externa	8	55	37

(Fonte: Beraldo; Zoulalian, 1995, p. 431)

Os polímeros de amido contidos nas células parênquimáticas dos bambus são um grande atrativo para o carunho (*Dinoderus minutus* F.) que ataca os colmos após o corte. Assim, o teor de amido, presente nos colmos, está diretamente relacionado à susceptibilidade à ação do caruncho e, conseqüentemente, à sua durabilidade. O *Dendrocalamus giganteus* possui grânulos de amido com diâmetro de 7,30µm (AZZINI; BERALDO, 2000) e os teores de amido e açúcar contidos, nos colmos, são considerados médios, conforme a tabela 15, conferindo a essa espécie uma boa resistência ao ataque de insetos.

Tabela 15: Teores de amido e frações fibrosa e residual da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Região do colmo	Amido (g/kg)	Fração fibrosa (g/kg)	Fração residual (g/kg)
Base	21,49a	700,68a	140,71a
Meio	38,28a	689,92a	182,37a
Ponta	21,66b	740,04a	175,82a
Média	27,14a	710,21a	166,30a
F	21,50**	0,68 n.s.	2,67 n.s.
D.M.S.	9,03	-	-
CV (%)	13,27	7,79	14,28

(Fonte: Azzini; Beraldo, 2000, p.48)

Antes da recente descoberta de uma nova espécie de bambu nomeada de *Guadua magna*, o *Dendrocalamus giganteus* era considerado a maior espécie de bambu encontrada, podendo atingir 30 metros de comprimento por 30cm de diâmetro, com entrenós variando entre 30 e 55cm. Em função de seus colmos

erectos, dimensões e espessura de parede avantajada essa espécie é uma das mais indicadas para a retirada de lâminas, ripas ou partículas, que podem ser comercialmente exploradas na fabricação de produtos através de seu beneficiamento. A figura 63 compara a espessura da parede dos colmos do *Dendrocalamus giganteus* na base, meio e topo do colmo, evidenciando também a diferença de espessura entre esses três pontos.

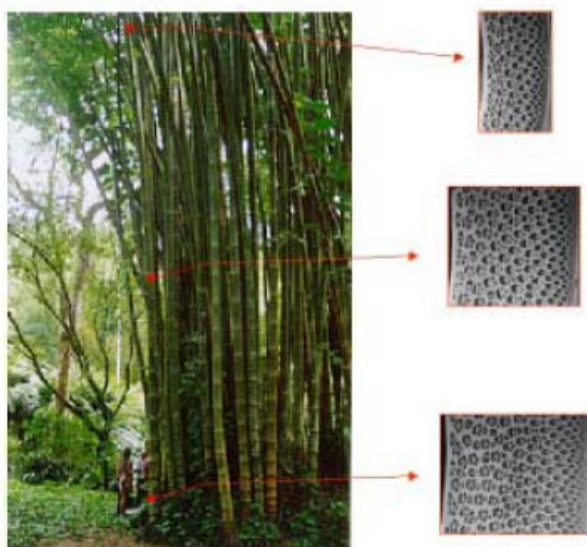


Figura 63: As espessuras da parede dos colmos do *Dendrocalamus giganteus*.
Fonte: GHAVAMI *et. al.*, 2003, p.08.

López (1978) observou que a velocidade média de crescimento dos colmos dos bambus situa-se entre 8 a 10 cm, mas no caso do *Dendrocalamus giganteus* esse valor pode chegar a 40cm por dia. Azzini *et. al.* (1989) estudando a velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu do Centro Experimental de Campinas, constataram que o *Dendrocalamus giganteus* apresentou a maior velocidade de crescimento, tanto para o valor médio (10,63 cm/dia) como para o valor máximo (22 cm/dia).

Outros dados obtidos no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) com aquele bambu, revelaram que num período de 30 dias após o início do desenvolvimento, colmos dessa espécie atingiram 6 metros de altura. (ALBERTINI, 1979)

Para o uso do bambu em escala industrial, é necessário que se conheçam as propriedades físicas e mecânicas da espécie escolhida. Assim, as tabela 16 e 17

expõem as propriedades mecânicas do *Dendrocalamus giganteus*, já que as propriedades físicas já foram demonstradas na tabela 04, na página 57.

Tabela 16: Propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*.

Propriedades do Bambu	Sem Nó	Com Nó
Módulo de elasticidade à tração (GPa)	23,75	13,14
Resistência à tração (MPa)	277,19	97,51
Módulo de elasticidade à compressão (GPa)	20,50	21,88
Resistência à compressão (MPa)	56,65	57,99

(Fonte: Lima Jr. *et al.* *apud* LIMA Jr.; DIAS, 2001, p. 520)

Tabela 17: Resistência à flexão do *Dendrocalamus giganteus*.

Limite elástico (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	MOE (GPa)
86	151	12

(Fonte: Beraldo *apud* MOIZÉS, 2007, p.35)

Janssen (*apud* PEREIRA; BERALDO, 2007) ressalta que dentro das propriedades mecânicas dos bambus, a massa específica aparente é uma das propriedades mais importantes, sendo que para maioria das espécies esse valor se situa em torno de 700 a 800 kg/m³. Os valores médios da massa específica aparente obtidos a partir dos ensaios, realizados por Pereira (2006) com ripas laminadas de *Dendrocalamus giganteus*, situaram-se em 810 Kg/m³ sem a presença de nós na amostras e em 880 kg/m³ com os nós.

Portanto, dentro do que foi apresentado sobre as características dos bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus*, conclui-se que ele reúne propriedades que permitem sua aplicação em diversas finalidades, em especial, como material de construção aplicado ao sistema construtivo em lâminas de bambu, tema focado neste trabalho.

1.5.2 A DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O desenvolvimento dos sistemas construtivos, através da pré-fabricação dos elementos compositivos, vem proporcionando avanços significativos para a indústria da construção. A substituição de algumas etapas da construção tradicional e artesanal, por elementos produzidos de forma industrial e, posteriormente, aplicados à obra pode ser vista em muitas experiências, implicando em soluções técnicas

funcionais e de custo reduzido para a industrialização dos serviços realizados no canteiro de obras.

Mesmo com a predominância dos processos convencionais de construção, Varella Filho (1991) observa que desde os tijolos de barro até aos mais modernos sistemas construtivos, existe toda uma evolução intrínseca que nem sempre é percebida e valorizada, mas que provocou toda uma mudança nos ritmos de trabalho, métodos de aplicação e treinamento profissional, melhorando a qualidade dos serviços prestados.

O uso dos componentes pré-fabricados induz a um processo construtivo racionalizado, onde o condicionante é a repetição dos elementos, produzidos por mão-de-obra especializada e equipamentos adequados, visando agilidade na execução e a qualidade do produto final.

A imagem do “jogo de montar” explicita bem o conceito de um sistema construtivo. A construção final é o resultado dos encaixes de um determinado número de peças projetadas, especialmente, para cada função, como forma de reduzir a irracionalidade que envolve hoje os métodos construtivos tradicionais. (FREITAS, 1991)

Esta sistematização industrial, através da standardização das peças, cria condições para se efetivar um controle de produção, tanto na recepção da matéria-prima quanto na saída dos módulos construtivos típicos, com maior produtividade, padronização de estoque e procedimentos programados.

Embasados nessa visão, é que se justifica, dentro de um contexto urbano nacional e para fins industriais, o desenvolvimento de um sistema construtivo com o uso do bambu laminado colado. Pois, é, exatamente, a ausência de soluções padronizadas com esse material que torna o trabalho artesanal e complicado, transformando cada obra em um projeto específico a ser desenvolvido, impedindo o uso de gabaritos, perfis comerciais e outras facilidades construtivas.

A concepção de que a indústria se prende a modulações obrigatórias e torna as soluções construtivas monótonas perde seu fundamento a partir da constatação

de que o sistema proposto não define a concepção formal das edificações, tendo em vista que uma das diretrizes que coordenam o sistema adotado é a flexibilidade de aplicação dos elementos, que se adaptam a soluções construtivas diferenciadas, sem que seja necessária a criação de uma família de componentes com perfis muito variados.

Esse conceito se enquadra dentro dos princípios de um sistema construtivo do tipo aberto, onde existe a liberdade de composição espacial determinada pela estrutura. A importância de propiciar ao contratante e ao profissional a liberdade de criar diferentes soluções, na opinião de Puga (1990), aplica-se à realidade brasileira, que possui uma grande diversidade cultural e é, portanto, marcada pela necessidade de diferenciação plástica entre os edifícios.

Assim, a elaboração do sistema construtivo em bambu laminado colado, que está sendo proposto nessa dissertação, segue as diretrizes anteriormente citadas: racionalização, padronização e flexibilidade de aplicação dos componentes, buscando a simplicidade no processo de construção, a redução de custos e, em especial, a qualidade dos elementos compositivos.

Esses parâmetros são premissas básicas para o desenvolvimento de qualquer sistema construtivo, mas quando a proposta envolve o uso do bambu, alguns aspectos que geram especial dúvida quanto ao uso desse material também devem ser considerados, entre eles, a durabilidade e a qualidade estética da estruturas.

Seguindo essa direção e juntamente com a análise feita de alguns sistemas construtivos existentes, optou-se por um sistema de aplicação generalizada, ou seja, as peças pré-fabricadas são multiplicáveis e, assim, abrem diversas possibilidades de aplicação, conforme o tipo de estrutura e necessidade espacial de cada obra.

O conceito fundamental do sistema construtivo é atender, adequadamente, as diversas soluções de projeto, utilizando os elementos pré-fabricados de bambu laminado colado, respondendo de forma positiva as solicitações estruturais presentes em cada caso.

Em outras palavras, a idéia principal é que um grupo considerável de composições estruturais, que empregue elementos retilíneos, possa ser montado a partir de uma família de peças, com seções que se encaixam em modulações capazes de responder aos mais variados vãos e solicitações de cargas.

Para tanto, adotou-se uma solução simples, através de elementos retilíneos, que se baseiam na pré-fabricação de peças componíveis e complementares, favorecendo à racionalização da produção, a partir do uso de elementos seriado que podem ser empregados de duas formas: pela aplicação total, onde somente os elementos de bambu laminado colado formam a estrutura, ou pela aplicação parcial, com alguns elementos de bambu, associados a outras técnicas construtivas.

A utilização racional do bambu, na construção, exige a adoção de critérios dimensionais para facilitar o andamento das etapas, desde a extração das ripas, até a produção dos elementos construtivos. Isto é possível através da coordenação modular, que tem como objetivo relacionar as dimensões dos materiais com à dimensão dos espaços arquitetônicos.

A elaboração de um módulo básico possibilita a padronização de medidas sem, no entanto, comprometer a liberdade projetual, direcionando sua aplicação para o segmento construtor, em obras de pequeno, médio e grande porte, tais peças modulares podem, possivelmente, ser usadas em galpões industriais, construções rurais, residências, conjuntos habitacionais, entre outros. É importante ressaltar que o emprego do sistema, em edificações de portes variados, deve levar em conta o dimensionamento dos elementos, conforme a solicitação estrutural e, em especial, sua viabilidade econômica.

Em resumo, o componente básico foi convenientemente projetado, segundo considerações dimensionais e de resistência estrutural, resultando na obtenção de um elemento de aplicação única, com possibilidades de ampliação a partir de uma coordenação modular, garantindo o máximo desempenho dos elementos estruturais. Traduzindo-se em uma tecnologia construtiva que confere agilidade, versatilidade de aplicação e simplificação, no processo de produção dos elementos e de execução das estruturas, como será verificado a seguir.

1.5.3 DESENHOS DA PROPOSTA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

1.5.3.1 Peça modular

Na fase inicial de concepção do sistema construtivo, foram trabalhadas diversas alternativas de elementos modulares, assim como outras opções de adesivos e elementos de ligação, buscando, entre as diversas possibilidades, aquela que fosse considerada a mais conveniente para tal fim. Em função de todas as mudanças e aprimoramentos, chegou-se a uma solução com maior potencial para atender aos objetivos propostos.

A simplicidade construtiva foi determinante na escolha do aspecto formal dos elementos básicos. Diante das razões já expostas, foi fundamental optar por um formato o mais constante possível, que apresentasse rigidez compatível para seu emprego em estruturas. Dessa maneira, o formato mais adequado ao módulo básico, segue a geometria das próprias lâminas que o compõem, resultando em um elemento retilíneo e ortogonal, conforme a figura 64 (em cm) abaixo:

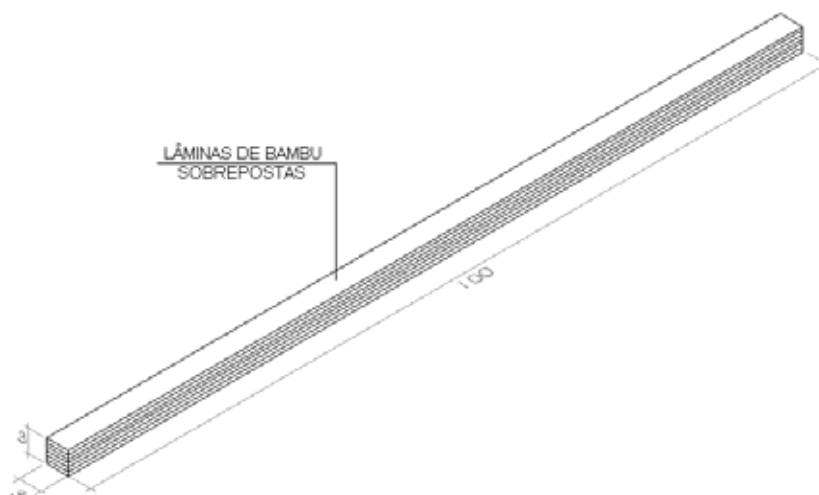


Figura 64: Desenho esquemático do perfil modular básico do elemento pré-fabricado (em cm).
Fonte: Desenho da autora.

O perfil, com um único formato de seção, permite que se criem mecanismos de controle industriais mais efetivos na fabricação das peças. Como outra vantagem, além das peças serem mais leves devido ao uso do bambu, seu formato ortogonal ajuda no seu posicionamento facilitando o transporte, manuseio e armazenamento.

Para a definição das dimensões dessa peça base foi proposto uma modulação ajustada em relação ao aproveitamento do bambu. Foram analisadas as medidas, comercialmente viáveis, para extração das ripas, colocando como objetivo principal a máxima redução dos desperdícios de material. A coordenação dimensional permitiu organizar todas as medidas e articular ordenadamente as peças para elaboração dos sistemas estruturais, com componentes associados, flexíveis e intercambiáveis entre si.

Os dados, sobre o aproveitamento máximo, indicaram maior incidência em relação às medidas aferidas ao módulo desenvolvido, 3 x 3 x 100 cm, já levando em conta as perdas no aparelhamento e o destopo das peças de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Portanto, a modulação se fixou nestas medidas que permitem agilidade comercial, na produção das lâminas e também possibilita a associação de outros sistemas construtivos que se utilizam do padrão modular universal (M=10cm).

A proposta do sistema construtivo baseia-se, então, nos princípios do sistema de seções padronizadas, múltiplos de 3 cm para largura e espessura, e de 10 cm para o comprimento, sem entalhes, constituindo-se de elementos lineares pré-fabricados e relativamente curtos, unidos por adesivos, parafusos ou conectores metálicos, enfocando o maior aproveitamento dos colmos por inteiro.

Este sistema de módulos pré-fabricados com aplicação variada oferece grande dinamismo na elaboração de projetos. A sua utilização deriva de um módulo básico possibilitando ampliações conforme o objetivo que se deseja alcançar. Esta propriedade de expansão conferida ao módulo original permite o desenvolvimento de um sistema construtivo integrado de montagens estruturais para com amplas possibilidades de emprego.

Com relação ao aumento da capacidade estrutural, ocorre com a ampliação da unidade básica, que pode ser a cada módulo, por justaposição das lâminas (figura 65a), ou com o acréscimo de novas unidades (figura 65b), desse modo os componentes possuirão resistência para exercer funções estruturais conforme as solicitações de cargas impostas.

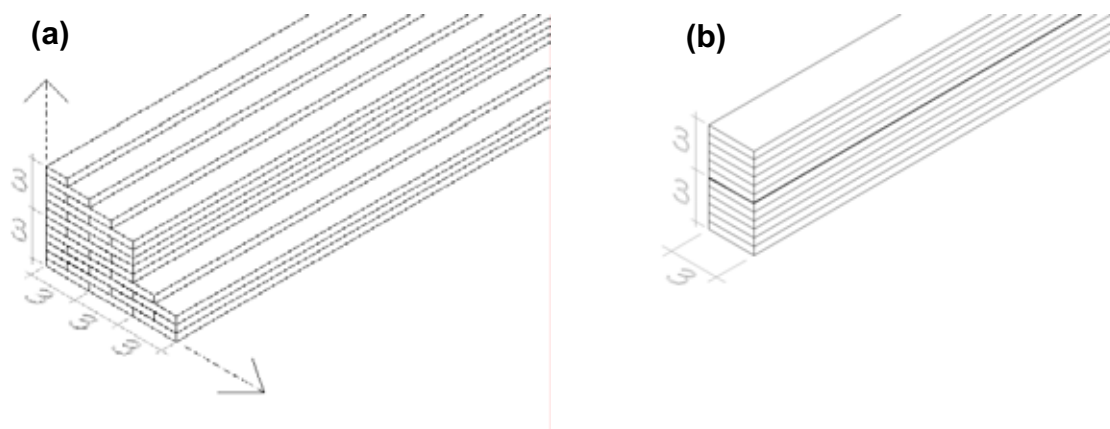


Figura 65: (a) Ampliação da unidade básica através do acréscimo de lâminas justapostas (em cm).
 (b) Ampliação da unidade básica através do acréscimo de novas unidades (em cm).

Fonte: Desenho da autora.

Pode-se concluir que a utilização do sistema de estruturas pré-fabricadas de bambu consiste, basicamente, em escolher prévia e adequadamente a forma da estrutura a ser construída para dimensioná-la corretamente. Após este planejamento inicial, é que as estruturas chegam à obra para execução, atribuindo segurança, agilidade nos ritmos de trabalho e ganhos econômicos com a redução dos desperdícios, com a mão-de-obra e com o material. Estabelece-se assim, no próprio canteiro de obra, um ritmo semelhante ao de uma linha de montagem industrial.

1.5.3.2 Sistema estrutural

O sistema construtivo é um produto de pesquisas realizadas, no sentido de elaborar componentes da construção que constituam estruturas leves e resistentes, com uma tecnologia de fácil assimilação e, que, junto com emprego das ligações adesivas e metálicas, formem estruturas ambientalmente adequadas e comercialmente competitivas com os demais sistemas construtivos existentes. Sua aplicação pode ser, tanto sob a forma de elementos isolados, exemplo: vigas e pilares, como de elementos associados, formando armações para receber as vedações, os pisos e coberturas.

As peças são unidas entre si compondo a edificação. A união entre elas permite a continuidade construtiva e a transmissão de esforços, que atuam nos

elementos, por isso as peças devem ser dimensionadas, de modo, que a função estrutural se mantenha conservada.

Estes elementos estruturais de bambu laminado colado são associados com emendas simplificadas por meio de parafusos e conectores metálicos. A opção por essas soluções podem apresentar um custo inicial elevado, mas justificado, considerando a durabilidade do material, a qualidade de acabamento e, em especial, a resistência das ligações.

Cabe ressaltar que, no bambu, mesmo no laminado colado, não é recomendado o uso de pregos ou conectores similares, restando como alternativas as ligações rosqueadas. Os encaixes entalhados, pinos de bambu e as amarrações com cordas ou arames, também se configuram como possibilidades de junção, mas o propósito do sistema construtivo em questão é priorizar as soluções estandardizadas e de fácil execução, ausentes nas ligações anteriormente citadas.

Somados a isso, as ligações devem permitir a capacidade de ampliação e intercambialidade entre os elementos, por isso julgaram-se as ligações escolhidas para o sistema mais adequadas aos objetivos propostos.

Buscando ainda a simplicidade construtiva, o sistema priorizou as uniões de topo na tentativa de eliminar as etapas que exigem grande perícia dos marceneiros, como os ajustes e encaixes. Garante-se, de antemão, os prumos, a precisão dimensional e a qualidade de acabamento.

A tecnologia sugerida incorpora detalhes de furos, encaixes simplificados e montagens constantes, permitindo a especificação de famílias de peças semelhantes, com capacidade estrutural diferenciada, propondo alternativas e layouts adaptados a cada projeto.

Para compor o sistema, os componentes construtivos elaborados a partir do módulo básico, são produzidos em série e acoplados entre si, para dar forma aos sistemas estruturais básicos que correspondem às treliças, pórticos, vigas e pilares, sempre verificando a capacidade de cada um deles resistirem ao carregamento

imposto. O conjunto estrutural é, portanto, resultado do acoplamento integrado entre os componentes.

Foram desenvolvidas soluções padrão para a concepção estrutural, não padronizando, precisamente, a edificação em seu formato, mas sim em suas ligações. A estrutura reticulada permite uma série de soluções que se aplicam convenientemente com a combinação de peças lineares.

São apresentados, nas figuras 65 e 66 a seguir, alguns detalhes mais comuns de ligações para os elementos lineares de bambu laminado colado. Outras soluções poderão ser desenvolvidas, sempre levando em consideração o resultado estético, a possibilidade de execução e o custo.

a) Ligações somente parafusadas:

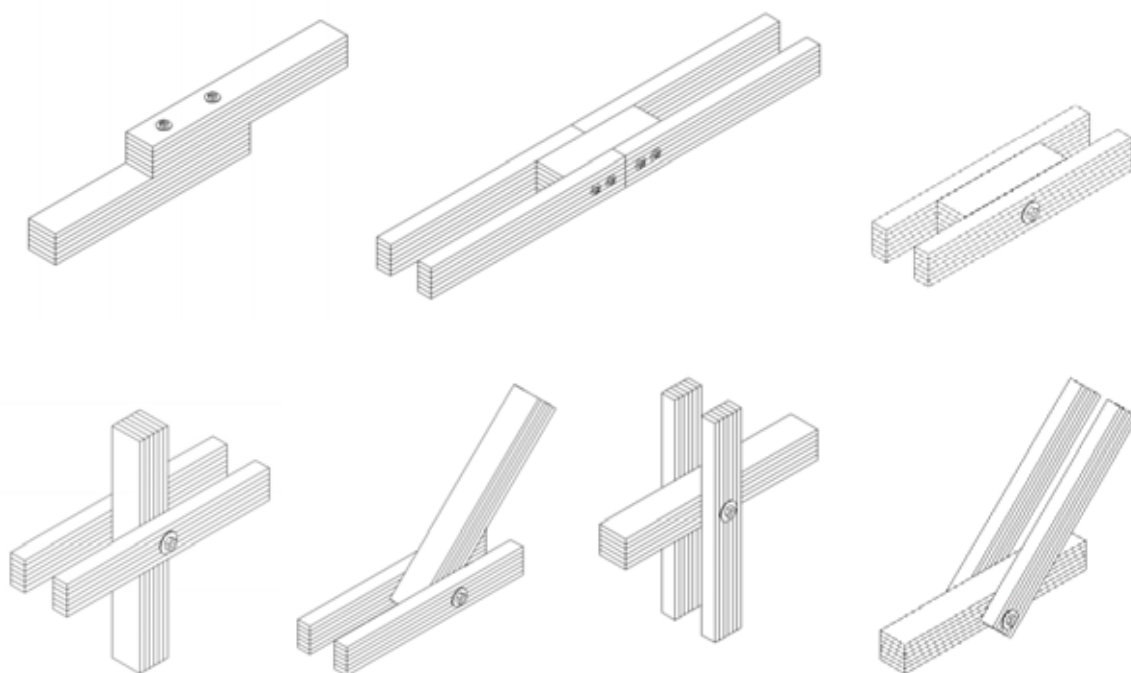


Figura 66: Detalhes das ligações parafusadas mais comuns para os elementos lineares de BLC.
Fonte: Desenhos da autora.

b) Ligações com conectores metálicos e parafusos:

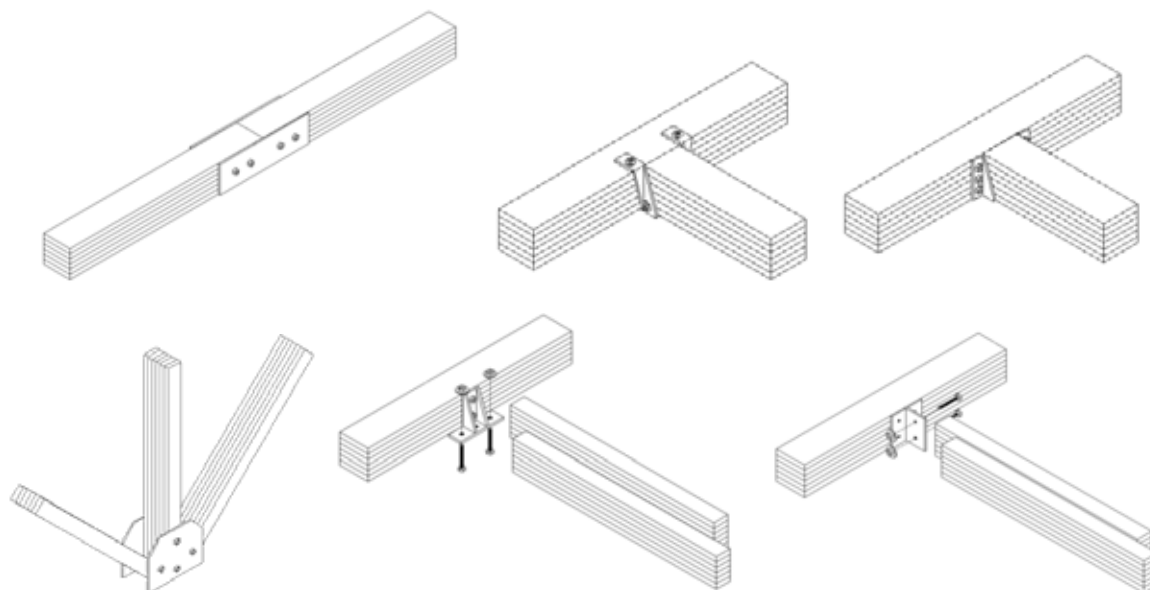


Figura 67: Detalhes das ligações com conectores metálicos mais comuns para os elementos de BLC.
Fonte: Desenhos da autora.

As ligações permitem que as estruturas sejam totalmente desmontadas e os componentes intercambiáveis, substituindo facilmente aqueles que apresentem qualquer tipo de irregularidade. Esta característica de substituição, reuso e ampliação do sistema é bastante interessante para construções temporárias e também do ponto de vista de investimentos parcelados, devido à simplicidade com que as estruturas podem ser ampliadas, agregando a praticidade ao uso dos elementos seriados.

Para a execução das estruturas, as peças são encaminhadas ao canteiro de obras pré-dimensionadas, de maneira a absorver os esforços impostos pela edificação. A montagem, propriamente dita, se dá com a união dos elementos construtivos, com encaixes simplificados, sem a necessidade de armazenamento do material ou de equipamentos especiais. Esse procedimento estabelece a organização dos processos construtivos, reduzindo o número de operários, que não precisam ser necessariamente especializados nesta etapa, transformando-os em uma equipe de montadores.

1.5.3.3 Possibilidades estruturais do sistema proposto

Com união entre os elementos lineares de bambu, são formados os sistemas estruturais mais adequados ao seu uso, representados pelos sistemas do tipo vetor-ativo e do tipo seção-ativa. Dentro dessas possibilidades construtivas proporcionadas pelas múltiplas associações entre as peças modulares de bambu laminado colado são compostos os seguintes sistemas estruturais básicos:

1) Treliças:

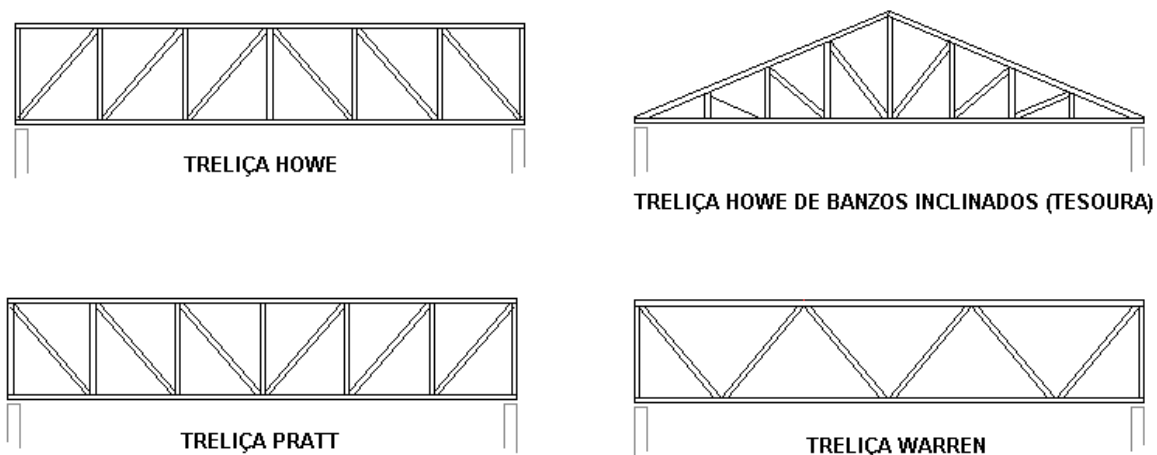
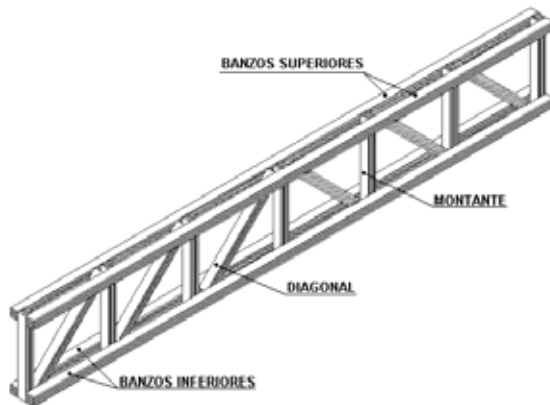


Figura 68: Algumas possibilidades de treliças com elementos lineares de bambu laminado colado.
Fonte: Desenhos da autora.

Na construção das treliças, os elementos lineares podem ser empregados com banzos duplos, sendo os montantes e diagonais simples, como na figura 69a. Ou com os montantes e diagonais duplos e os banzos simples, como na figura 69b.

a)



b)

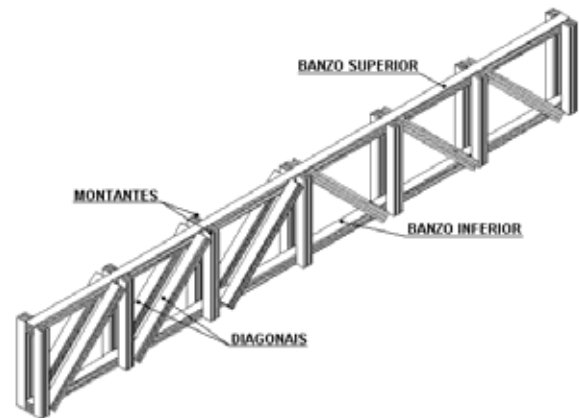


Figura 69: Exemplo de treliça *Howe* (a) com banzos duplos e (b) com banzos simples.
Fonte: Desenhos da autora.

2) Vigas:

As vigas de bambu laminado colado podem ser utilizadas com perfis simples, como as vigas de alma cheia, ou com múltiplas associações, como no caso das vigas justapostas formando barras com seções comerciais de 6 x 12cm por exemplo, ou ainda com seções compostas, de alma única (ou celular), duplo 'T' e do tipo *vierendeel*, observados nos desenhos em vista na figura 70 a seguir:

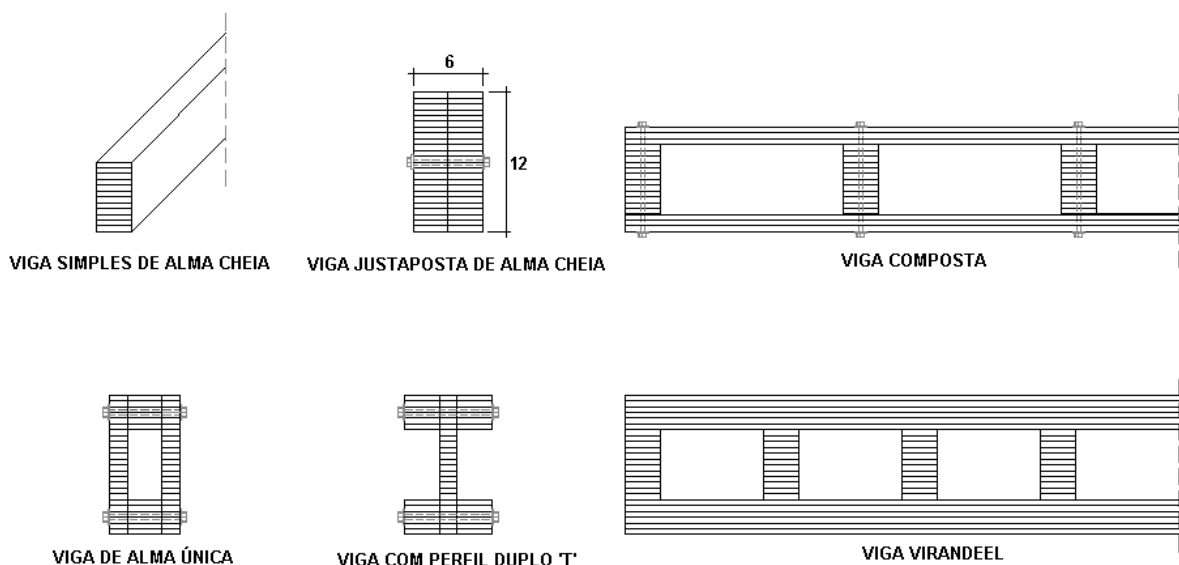


Figura 70: Algumas possibilidades de vigas com elementos lineares de bambu laminado colado.
Fonte: Desenhos da autora.

3) Pilares:

Os pilares também são formados pela associação dos elementos modulares de bambu laminado colado mediante o emprego de adesivos ou de conectores, apresentando variados formatos, tais como os pilares de seção quadrada, retangular, de perfil celular, 'T' simples, de seção cruciforme e composta, de maneira a atender as diferentes soluções projetuais.

A figura 71 demonstra em vista superior algumas possibilidades do emprego do sistema na composição de pilares:

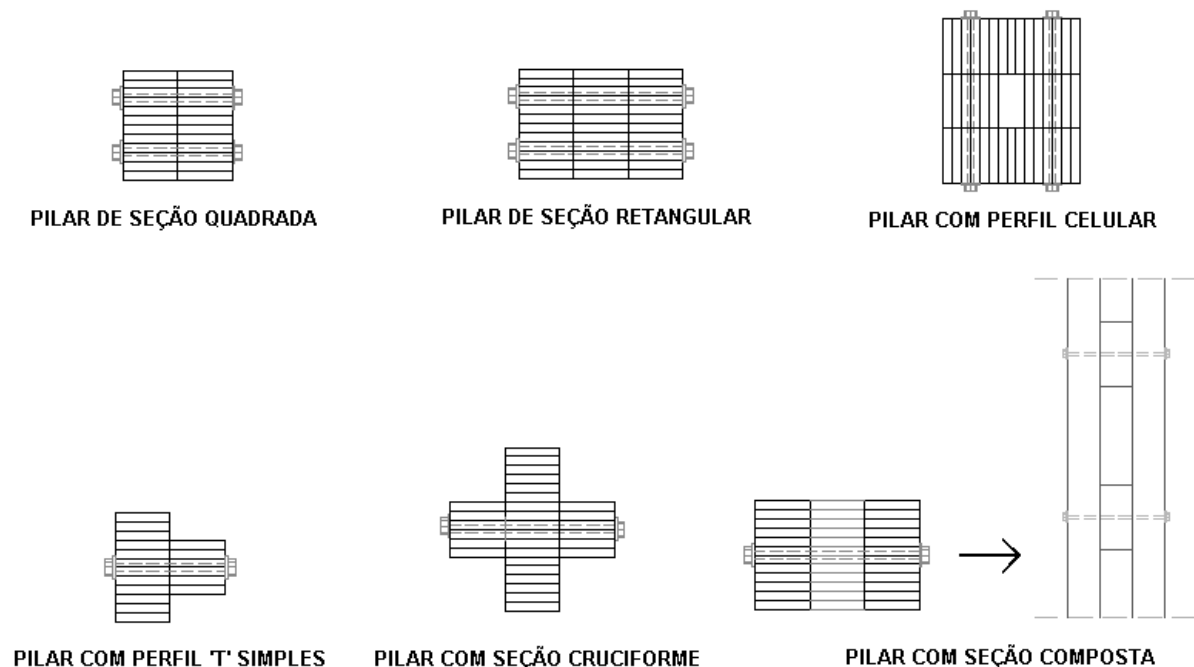


Figura 71: Algumas possibilidades de pilares com elementos lineares de bambu laminado colado.
Fonte: Desenhos da autora.

4) Pórticos:

Os pórticos podem ser formados através da ligação rígida entre vigas e pilares, porém sua execução utilizando os elementos lineares do sistema proposto pode apresentar algumas dificuldades no que se refere a garantir a rigidez entre os vínculos.

Uma possibilidade é a confecção de uma estrutura monolítica (figura 72) com a união dos elementos modulares. Entretanto, o seu custo elevado permite que esta solução se torne interessante apenas do ponto de vista estético, ou nos casos em que as exigências arquitetônicas não permitam o uso de vigas simplesmente apoiadas em pilares.



PÓRTICO COM ESTRUTURA LAMINADA

Figura 72: Uma possibilidade de pórtico com elementos lineares de bambu laminado colado.

Fonte: Desenho da autora.

É importante ressaltar que os sistemas estruturais básicos por si só, não formam uma estrutura completa. Rebello (2003) exemplifica que uma viga necessita da associação de pelo menos um pilar para que os esforços sejam encaminhados ao solo e que estas associações ocorram como resultado natural da concepção arquitetônica, das suas funções e dos espaços. Conforme o autor, a criação das formas arquitetônicas está intimamente ligada às possibilidades de associações entre os sistemas estruturais básicos.

Qualquer uma das alternativas, estruturais, anteriormente, citadas, pode trabalhar associada com outros sistemas construtivos existentes. Como a proposta admite a combinação entre diferentes tipos materiais, desde à fundação até à cobertura, são admissíveis, tanto as técnicas convencionais, como as industrializadas. Nesse aspecto, as opções podem gerar um processo de adaptação bastante criativo.

Entretanto, o uso dos componentes pré-fabricados, como os painéis de vedação (em especial os de bambu), esquadrias, entres outros, agilizam o processo de edificação, uma vez que os elementos podem ser facilmente aplicados na própria

estrutura de bambu laminado colado, que se apresenta como um gabarito de fixação.

Para garantir a longevidade das estruturas, além do tratamento das ripas com imunizantes e fungicidas, é recomendado prever beirais largos e evitar o contato direto dos elementos de bambu com o solo. Ainda que a proteção contra as intempéries e a umidade seja uma especificação comum e necessária a vários tipos de sistemas construtivos, no caso do bambu, a presença de água compromete a sua durabilidade, por torná-lo susceptível ao apodrecimento e à deterioração por fungos. Essa compreensão resulta em soluções construtivas que impedem o acúmulo de água na base da estrutura, como por exemplo, a demonstrada na figura 73.

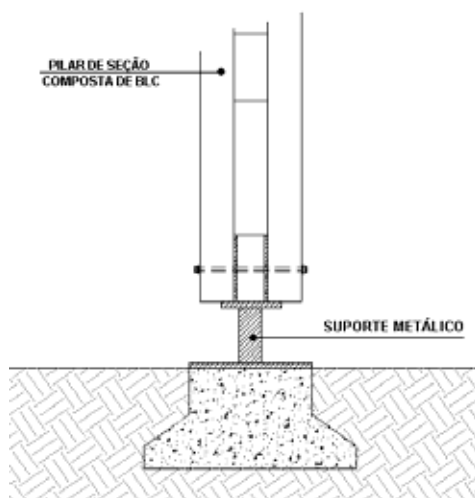


Figura 73: Solução construtiva para impedir o acúmulo de água na base das estruturas.
Fonte: Desenho da autora.

Como outro meio para prolongar a vida útil do material, os projetos devem apresentar desenhos e especificações técnicas para execução da obra. Igualmente necessário é um manual para o usuário, informando os aspectos pertinentes à manutenção do produto.

1.5.4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Assim, conclui-se que o emprego intensivo do bambu, como material de construção, pode trazer algumas vantagens para a indústria da construção. Além dos ganhos ambientais proporcionados pelo uso de um recurso renovável, os elementos propostos concebem estruturas leves e resistentes, características próprias do material. E que são adequadas ao uso de equipamentos simples para sua fabricação e execução das obras, bem como, para o uso de veículos de pequeno porte para no seu transporte da fábrica ao local de construção.

O sistema construtivo é, portanto, bastante compatível com os padrões usuais, e apresenta grandes possibilidades para seu uso. As dimensões do componente básico são adequadas ao aproveitamento máximo dos colmos, abrindo possibilidades de ampliações e, inclusive, ao emprego dos laminados de bambus em peças lineares de bitolas comerciais. Da mesma forma que a padronização de perfis e a simplicidade das ligações tornam o sistema propício ao desenvolvimento de diversos tipos de estruturas.

Longe de querer apresentar as melhores soluções de composição estrutural e inclusive de esgotá-las, a pesquisa sugere apenas uma possibilidade de padronização, para o uso do bambu de forma facilitada e racional, no intuito de introduzi-lo no mercado construtivo industrializado. Dadas as primeiras sugestões, os passos seguintes correspondem à capacidade criativa de cada um no emprego das estruturas lineares pré-fabricadas de bambu.

CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

2.1.1 DESENHO DA TRELIÇA PLANA DO TIPO WARREN

O desenho da treliça tem por finalidade avaliar o sistema proposto e criar condições técnicas para a execução do protótipo, através do planejamento construtivo que compreende as fases de detalhamento, quantificação de material, a elaboração de gabaritos, a padronização e repetição dos componentes, e os procedimentos de montagem.

A figura 74 abaixo representa toda a etapa da experimentação, no intuito de obter informações que contribuam para o aprimoramento dos desenhos, e conseqüentemente, do sistema:

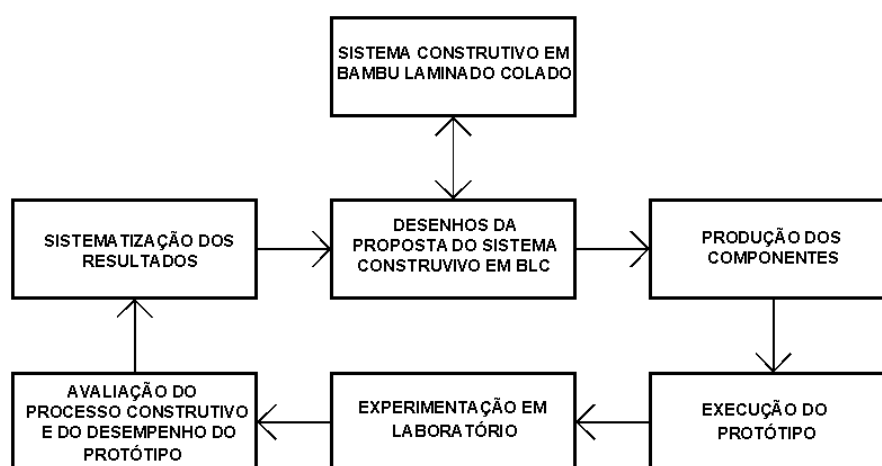


Figura 74: Fluxo das etapas gerais da fase de experimentação.
Fonte: Desenho da autora.

Dentro das diversas possibilidades construtivas que o sistema oferece, produzir uma treliça de banzos paralelos, com lâminas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, por se tratar de uma estrutura que melhor se adapta a proposta. Essa solução permite o uso de diferentes recursos num só modelo, como por exemplo: o emprego de adesivos e das ligações parafusadas, de elementos simples e compostos, assim como, dos encaixes com ângulos oblíquos e ortogonais.

Outra vantagem que a confecção da treliça oferece é a possibilidade do uso da malha modular básica, tornando a estrutura mais esbelta e, inclusive, facilitando a sua produção. Como a execução do protótipo, neste caso, envolverá uma produção

artesanal, diferentemente daquilo que propõe a pesquisa, a adoção do módulo básico foi uma premissa de projeto, pois entende-se que sessões menores, além de reduzir a quantidade de material envolvido, podem ser mais facilmente produzidas dessa maneira.

No estudo da forma básica, após considerar os diversos tipos de treliças existentes, optou-se pela treliça do tipo *Warren*, utilizando os banzos superiores e inferiores duplos e as diagonais simples, como pode ser observado na perspectiva (figura 75) a seguir:

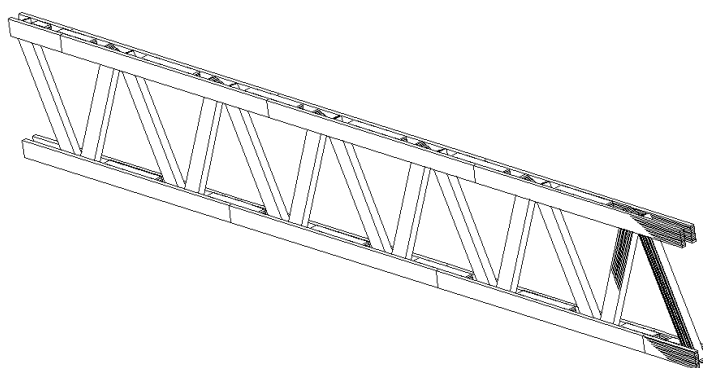


Figura 75: Perspectiva do protótipo, sem escala.
Fonte: Desenho da autora.

A estrutura é composta por peças lineares de bambu laminado colado, seguindo os princípios do sistema proposto de pré-fabricação e padronização dos componentes, das conexões e operações de construção. Nesse sentido, o desenho da treliça priorizou as ligações simplificadas, sem entalhes nas peças, de modo que o processo construtivo fosse simples, ágil e racionalizado. A seguir, é apresentado o desenho básico do protótipo da treliça de bambu laminado colado (figura 76):

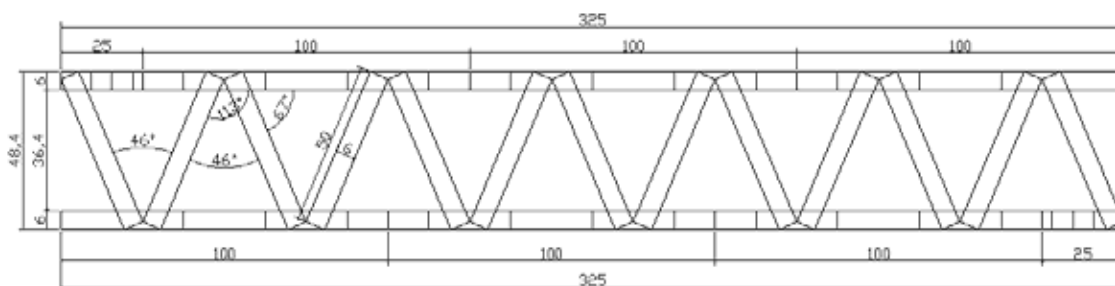


Figura 76: Desenho básico da treliça de banzos paralelos (em cm).
Fonte: Desenho da autora.

Para que as diagonais pudessem ser fixadas entre as peças compostas, os banzos, superior e inferior, são igualmente montados, mas posicionados de forma alternada um em relação ao outro, como na figura 77 a seguir:

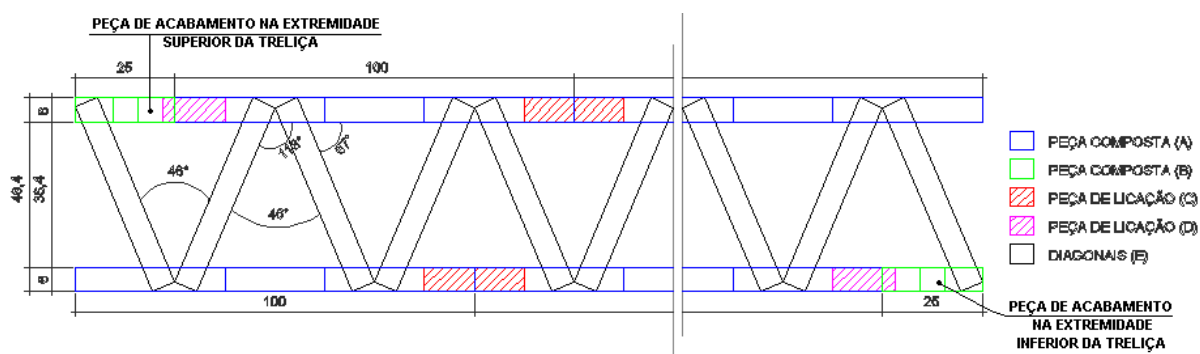


Figura 77: Detalhe das peças intercaladas, sem escala.
Fonte: Desenho da autora.

Assim, na concepção, no desenvolvimento e detalhamento do projeto, levou-se em conta: o emprego de perfis simplificados seguindo a modulação básica, o uso do adesivo à base de resorcinol-formaldeído na montagem das peças e das ligações metálicas (parafusos), associados à racionalização do processo construtivo.

É importante destacar que a adoção das uniões parafusadas, além de se aproximar da teoria das treliças, onde os nós devem ser articulados, permite intercambialidade entre as peças. Independentemente umas das outras, essas peças podem ser montadas, desmontadas e reutilizadas sempre que necessário, facilitando, inclusive, o transporte da estrutura.

No quadro 03 pode ser vista as peças necessárias a serem produzidas para compor o protótipo da treliça de bambu laminado colado. Observa-se que a peça de ligação (D) não segue o padrão modular proposto em seu comprimento (múltiplos de $M=10\text{cm}$), devido ao fato de que esse componente atua simplesmente como elemento de ligação das peças de acabamento compostas (B), elaboradas, exclusivamente, para o protótipo. Foi necessário adotar essa medida para que as diagonais continuassem a ser igualmente distribuídas.

Quadro 03: Peças componentes da treliça de bambu laminado colado:

PROJETO DOS COMPONENTES		POSIÇÃO/ QTDE. (sem escala)
<p>PEÇA COMPOSTA (A)</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>SEÇÃO DA PEÇA</p> <p>PERSPECTIVA (sem escala)</p>		
<p>PEÇA COMPOSTA (B)*</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>SEÇÃO DA PEÇA</p> <p>PERSPECTIVA</p>	<p>* PEÇAS DE ACABAMENTO</p>	
<p>PEÇA DE LIGAÇÃO (C)</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>SEÇÃO DA PEÇA</p> <p>PERSPECTIVA</p>		
<p>PEÇA DE LIGAÇÃO (D)</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>SEÇÃO DA PEÇA</p> <p>PERSPECTIVA</p>		
<p>DIAGONAIS (E)</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>SEÇÃO DA PEÇA</p> <p>PERSPECTIVA</p>		

As etapas seguintes, que envolvem a produção dos componentes do protótipo, idealizados segundo o projeto arquitetônico apresentado, resultarão em conclusões a respeito de sua viabilidade técnica e construtiva. Com esses resultados espera-se obter informações pertinentes ao aprimoramento do projeto, bem como do sistema estrutural como um todo.

2.1.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Para que uma estrutura tenha um comportamento adequado, ela deve ser dimensionada para suportar as solicitações previstas durante a sua execução e a sua utilização, de modo que, os esforços solicitantes e de resistência não ultrapassem determinados valores limites, que dependem do material, da forma da estrutura e do sistema construtivo. (MELO, 2008)

Para o dimensionamento das ligações entre os componentes da treliça de bambu laminado colado, buscou-se uma solução segura e econômica, trabalhando com a rigidez da peça de acordo com espaçamento entre os parafusos, pois a quantidade e o diâmetro dos parafusos definem a resistência da ligação e, conseqüentemente, a rigidez estrutural do conjunto.

Como não existem, ainda, critérios de cálculo para o dimensionamento das ligações estruturais em bambu, foi utilizada a norma voltada para madeira, mais especificamente a antiga NBR 7190/81, que fornece, entre outras disposições construtivas, a metodologia de cálculo para os esforços admissíveis em parafusos. Essa etapa contou com a orientação do Engenheiro Júlio Eustáquio de Melo.

Na determinação da intensidade e da distribuição das tensões ao longo da treliça, foi utilizado um programa computacional desenvolvido em linguagem *Basic*, conhecido como Programas em *Basic* para Cálculos em Engenharia, que fornece ferramentas, inclusive, para o cálculo de sistemas reticulares, como as treliças, gerando dados como: o equilíbrio externo (reações de apoio), o equilíbrio interno (esforços de tração ou compressão nas barras) e os deslocamentos verticais em quaisquer pontos da estrutura.

Através dos dados inseridos no programa, aplicando uma carga total de 12.000 N, originou-se o seguinte modelo com os esforços atuantes nas barras (figura 78), em N:

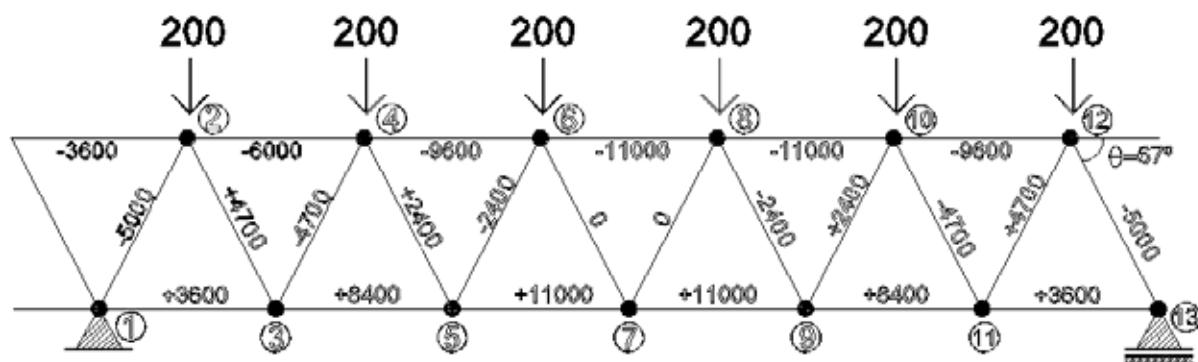


Figura 78: Determinação dos esforços atuantes nas barras da treliça.
 Fonte: Adaptado de Programas em *Basic* para Cálculos em Engenharia.

O *software* fornece ainda a flecha (deslocamento vertical) derivada dos esforços a que está submetida esta estrutura, sendo que a flecha admissível ($\bar{\Delta} = \frac{L}{350}$) é de 0,85cm. Para o carregamento imposto no nó de número 7, região mediana da treliça, a flecha teórica obtida foi de: $\bar{\Delta} = 0,22\text{cm}$, apresentado juntamente com outras duas simulações feitas para determinação da flecha e posterior comparação ao ensaio experimental, como mostra a tabela 18 a seguir:

Tabela 18: Simulação computacional para obtenção dos deslocamentos verticais.

Carga (N)	Flecha (cm)
3000	0,05
6000	0,10
12000	0,22

Com os esforços atuantes em cada barra, pode-se, na seqüência, dimensionar as ligações que compõem a treliça. No desenvolvimento dos cálculos, devido à falta de normas específicas, foram determinados os seguintes valores básicos:

Valor médio do módulo de elasticidade na flexão do bambu laminado colado: (tabela 11)

$$E = 13,6 \text{ GPa}$$

Tensão admissível na compressão paralela às fibras do BLC: (tabela 11)

$$\bar{\sigma}_c = 65,5 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_c = 65,5 \times 0,20 \text{ (Equação 1 – NBR 7190/81)}$$

$$\bar{\sigma}_c = 13,1 \text{ MPa}$$

Limite mínimo de escoamento especificado para o aço do parafuso:

$$\bar{\sigma}_e = 240 \text{ MPa}$$

Diâmetro do parafuso (anexo I):

$$\delta = 1,25 \text{ cm}$$

Coefficiente em função do diâmetro do parafuso (anexo I):

$$\eta = 1,68 \text{ cm}$$

Largura da peça principal de bambu, medida na direção do eixo do parafuso:

$$b = 3 \text{ cm}$$

1) Cálculo das tensões básicas:

a) Tensão básica paralela às fibras, na área projetada do parafuso:

$$\bar{\sigma}_{bp} = 0,90 \cdot \bar{\sigma}_c \text{ (Equação 2)}$$

$$\bar{\sigma}_{bp} = 0,90 \cdot 13,1 \rightarrow 11,79 \text{ MPa}$$

b) Tensão básica perpendicular às fibras, na área projetada do parafuso:

$$\bar{\sigma}_{bn} = 0,25 \cdot \bar{\sigma}_{bp} \text{ (Equação 3)}$$

$$\bar{\sigma}_{bn} = 0,25 \cdot 11,79 \rightarrow 2,95 \text{ MPa}$$

2) Cálculo da capacidade de carga por parafuso:

a) Paralela às fibras:

$$\omega'_p = \frac{59 \cdot \bar{\sigma}_e \cdot \delta^2}{\bar{\sigma}_{bp} \cdot b^2} \text{ (Equação 4)}$$

$$\omega'_p = \frac{59 \times 240 \times 1,25^2}{11,79 \times 3^2} \rightarrow 208,5$$

b) Perpendicular às fibras:

$$\omega'_n = \frac{26,2 \cdot \bar{\sigma}_e \cdot \delta^2}{\bar{\sigma}_{bn} \cdot b^2} \quad (\text{Equação 5})$$

$$\omega'_n = \frac{26,2 \times 240 \times 1,25^2}{2,95 \times 3^2} \rightarrow 370,1$$

Para ω'_p e $\omega'_n > 33,3$ tem-se:

$$\omega_p = \frac{22,6 + 0,63 \cdot \omega'_p + 0,00575 \cdot \omega'^2_p}{100} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\omega_p = \frac{22,6 + 0,63 \times 208,5 + 0,00575 \times 208,5^2}{100} \rightarrow 4,04$$

$$\omega_n = \frac{22,6 + 0,63 \cdot \omega'_n + 0,00575 \cdot \omega'^2_n}{100} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\omega_n = \frac{22,6 + 0,63 \times 370,1 + 0,00575 \times 370,1^2}{100} \rightarrow 10,4$$

Como ω_p e $\omega_n > 1$, adotou-se ω_p e $\omega_n = 1$ (maior rigidez na ligação)

3) Cálculo das forças admissíveis (em N):

a) A força admissível paralela às fibras, por parafuso, é dada pela equação empírica:

$$\bar{F}_p = \bar{\sigma}_{bp} \cdot \omega_p \cdot b \cdot \delta \quad (\text{Equação 8})$$

$$\bar{F}_p = 1179 \times 1 \times 3 \times 1,25 \rightarrow 4421,2\text{N}$$

b) A força admissível perpendicular às fibras, por parafuso, é dada pela equação empírica:

$$\bar{F}_n = \bar{\sigma}_{bn} \cdot \omega_n \cdot b \cdot \delta \cdot \eta \quad (\text{Equação 9})$$

$$\bar{F}_n = 295 \times 1 \times 3 \times 1,25 \times 1,68 \rightarrow 1858,5\text{N}$$

c) Esforços inclinados em relação às fibras:

A fórmula a seguir (Hankinson) permite determinar os valores intermediários da força admissível por parafuso (\bar{F}_θ) em função do ângulo (θ) da direção do esforço com a direção das fibras (MELO, 2008):

Dados: $\theta = 67^\circ$ ($\text{sen } 67^\circ = 0,920505$ e $\text{cos } 67^\circ = 0,39721$)

$$F_\theta = \frac{\bar{F}_p \cdot \bar{F}_n}{\bar{F}_p \cdot \text{sen } \theta^2 + \bar{F}_n \cdot \text{cos } \theta^2} \quad (\text{Equação 10})$$

$$F_\theta = \frac{4421,2 \times 1858,5}{104,16 \times 0,920505^2 + 63,30 \times 0,39721^2} \rightarrow 2645,6\text{N}$$

4) Cálculo do número de parafusos:

a) Entre os componentes dos banzos:

Com base nos esforços atuantes em cada segmento dos banzos, apresentados na figura 79, foi determinada a quantidade necessária de parafusos (NP) para cada ligação, demonstradas a seguir:

$$NP = \frac{F \text{ atuante na barra}}{F_p} \quad (\text{Equação 11})$$

a₁) Ligação 1 e 6:

$$NP = \frac{5000}{4421,2} \rightarrow = 1,13 \cong 2$$

a₂) Ligação 2:

$$NP = \frac{9600}{4421,2} \rightarrow = 2,17 \cong 3$$

a₃) Ligação 4:

$$NP = \frac{8400}{4421,2} \rightarrow = 1,89 \cong 2$$

a₄) Ligação 3 e 5:

$$NP = \frac{11000}{4421,2} \rightarrow = 2,48 \cong 3$$

Em razão da fragilidade das ligações entre elementos de bambu, submetidos a esforços de tração paralela às fibras e da adoção da metodologia de dimensionamento específica para madeira, nas ligações 1, 4 e 6, a quantidade de parafusos foi aumentada, conforme demonstrado nas figuras 79 e 80, para dar mais resistência ao conjunto, pois os valores obtidos são estimativas a serem adaptadas às características do bambu.

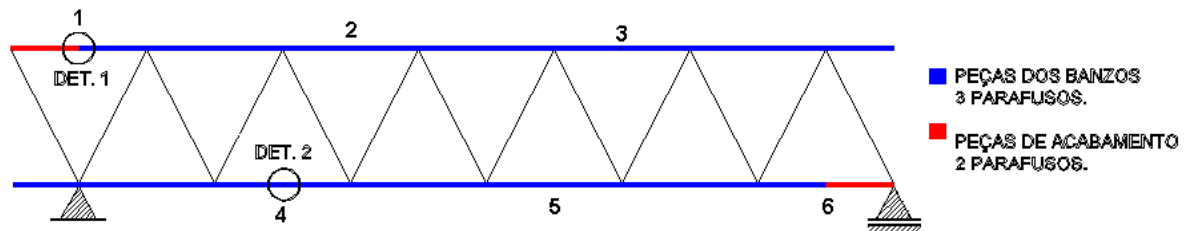


Figura 79: Esquema de distribuição dos parafusos nas ligações entre os componentes dos banzos. Fonte: Desenho da autora.

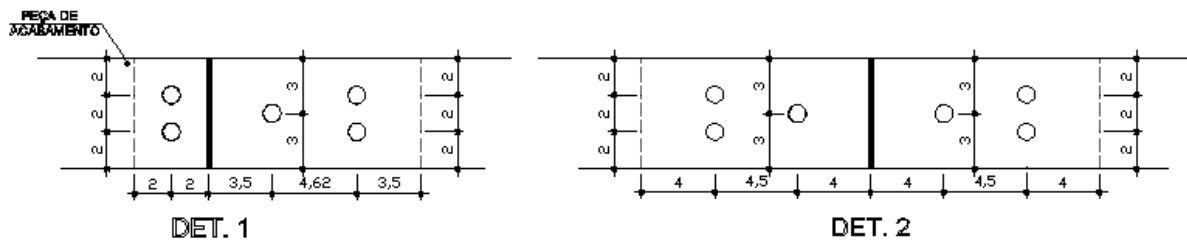


Figura 80: Detalhes dos espaçamentos entre as peças que compõem os banzos (em cm). Fonte: Desenhos da autora.

b) Entre as diagonais e os banzos:

No mesmo sentido, com base nos esforços atuantes, o cálculo da quantidade de parafusos (NP) nas diagonais é dada pela expressão:

$$NP = \frac{F_{\text{atuante na barra}}}{F_{\theta}} \quad (\text{Equação 12})$$

b₁) Ligação nas diagonais 1-2 e 12-13:

$$NP = \frac{5000}{2645,6} \rightarrow = 1,89 \cong 2$$

b₂) Ligação nas diagonais 2-3, 3-4, 10-11, 11-12:

$$NP = \frac{4700}{2645,6} \rightarrow = 1,77 \cong 2$$

b₃) Ligação nas diagonais 4-5, 5-6, 8-9, 9-10:

$$NP = \frac{2400}{2645,6} \rightarrow = 0,90 \cong 1$$

Como os esforços atuantes nas diagonais 6-7 e 7-8, é igual a zero, é necessário apenas 1 parafuso para a união das peças. Os esquemas a seguir (figuras 81 e 82), explicitam a forma de distribuição dos parafusos pelas diagonais.

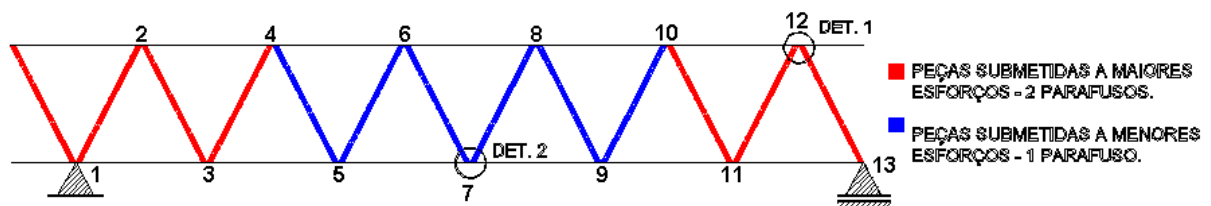


Figura 81: Esquema de distribuição dos parafusos conforme a solicitação nas barras.
Fonte: Desenho da autora.

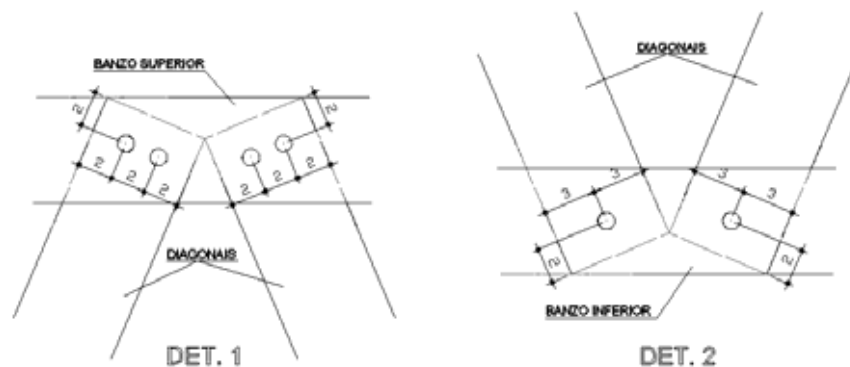


Figura 82: Detalhes dos espaçamentos entre os parafusos nas diagonais.
Fonte: Desenhos da autora.

Uma vez determinados os espaçamentos entre os parafusos, é possível, para a confecção do protótipo, lançar mão do uso do gabarito, que além de facilitar a execução dos furos, garante a precisão dimensional e a padronização dos componentes.

Os valores obtidos aqui, estabelecidos teoricamente, serão comparados aos obtidos experimentalmente nos ensaios, a fim de verificar as possíveis variações entre os valores determinados nos dois procedimentos.

2.1.3 CONFEÇÃO DA TRELIÇA

O sistema estrutural modular em BLC é composto por elementos lineares de aplicações variadas. A partir da modulação básica as peças podem ser combinadas adaptando-se a diferentes concepções estruturais, entre as quais, pode-se citar o sistema básico do tipo treliça, escolhido para o desenvolvimento de um protótipo em escala real, apresentado nesse item, como parte do importante exercício da experimentação.

A produção do protótipo visa à obtenção de dados em relação à viabilidade construtiva do sistema proposto, bem como, à coleta de informações sobre as técnicas e materiais utilizados, identificando as dificuldades encontradas, no intuito de aprimorar o sistema do ponto de vista arquitetônico e construtivo.

A concepção do modelo foi encaminhada de modo que o preparo das peças e a montagem do conjunto se aproximasse o máximo possível da situação real, a fim de propiciar uma avaliação mais verdadeira e capaz de ser transportada para uma condição real.

No entanto, em muitas situações, isso não é possível, pois o modo de fabricação se aproxima mais de um processo artesanal do que de um industrial, visto que a produção do laminado colado, em escala industrial e circunvizinha a Brasília, local da pesquisa, é inexistente. Fato que nos levou a utilizar máquinas e ferramentas adequadas ao beneficiamento da madeira.

Cabe ressaltar que, anteriormente a esse, foi executado um protótipo com outras dimensões e com o emprego de um adesivo polivinílico (PVA), comercialmente vendido como Cascorez Extra, da indústria Henkel. Este último se mostrou adequado aos objetivos propostos para execução do experimento, que é principalmente, demonstrar a viabilidade construtiva do sistema.

Entretanto, optou-se, posteriormente, pela resina fenólica, o Cascophen, também da indústria Henkel. Apesar do seu custo elevado, considerou-se o fato dele ser mais apropriado à fabricação dos laminados colados estruturais, conforme

López (2003) e Carrasco *et.al.* (1995), e, como já foi citado, procura-se nessa pesquisa a maior aproximação possível de uma situação real de produção.

Já as dimensões, adotadas no projeto anterior, apresentaram problemas estruturais quanto à resistência das ligações e quanto à capacidade de suportar esforços nas diagonais.

Reformulados o desenho da treliça e feita a escolha do adesivo, na marcenaria da Universidade de Brasília, situada na prefeitura do *campus*, foram confeccionadas as peças para compor o protótipo do sistema construtivo em BLC.

Os procedimentos experimentais foram organizados conforme as etapas descritas a seguir e o quadro 04 apresenta os principais materiais empregados na execução do protótipo:

Quadro 04: Principais materiais empregados na execução do protótipo.

Material	Quantidade
Adesivo à base de resorcionol-formaldeído, Cascophen RS, acompanhado de seu respectivo preparado endurecedor em pó, da indústria Henkel;	3.000 g
Parafusos de ½ " x 3", com porcas e arruelas;	74 unidades
Ripas laminadas de bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> .	200idades

Etapa 1: Processo de obtenção das lâminas.

Todo o bambu empregado, na execução do protótipo, foi cedido, já em forma de ripas, pela empresa EMBAMBU⁸. De acordo com o Engenheiro Agrônomo Msc. Roberto Magno de Castro e Silva, responsável pelas atividades da EMBAMBU, os colmos da espécie *Dendrocalamus giganteus* foram selecionadas conforme sua aparência, procurando retirar aqueles, com idade superior a três anos, da propriedade particular em que se encontravam no município de Silvânia, Estado de Goiás.

⁸ A EMBAMBU é uma empresa comercial, situada na área industrial do Município de Senador Canedo/GO. Suas atividades envolvem a produção de mudas de bambu, pesquisas, capacitação de mão-de-obra, fornecimento de matéria-prima para os mais diversos fins, entre outros.

Os colmos selecionados foram colhidos com o auxílio de uma moto-serra rente, cotando as peças escolhidas rente ao segundo nó, para conservar a planta, evitando o acúmulo de água nos entrenós e, assim, o seu posterior apodrecimento.

Após esse processo os colmos foram fracionados para facilitar o transporte. O Engº. Roberto Magno explica que o ideal seria permitir que todos os bambus secassem no próprio local da colheita e, em seguida, cortá-los em ripas, reduzindo assim o peso total da carga pela perda da umidade e evitando o transporte de vazios que encarecem essa etapa. Entretanto, esse procedimento ainda não é possível, uma vez que a propriedade é particular e não dispõe de estrutura física para uso das máquinas e locais de armazenamento para os bambus.

Seguindo a recomendação de Graça (1988) para promover a secagem dos bambus em épocas de clima seco (tabela 01, p. 39), os mesmos ficaram armazenados durante um período de 2 meses, na sede da EMBAMBU. Protegidos das intempéries, os bambus foram organizados formando pilhas alternadas em galpões ventilados para estabilizar a variação dimensional provocada pela presença de umidade.

O passo seguinte foi a obtenção das ripas, para tanto, foi utilizada uma serra elétrica de discos duplos paralelos de tungstênio, adaptadas a partir de uma serra de mesa comum encontrada em marcenarias, a figura 83 mostra os colmos serrados.



Figura 83: Colmos da espécie *Dendrocalamus giganteus* após passarem pela serra de discos duplos.
Fonte: Foto da autora.

As ripas podem ser extraídas com dimensões que variam entre 30 a 45mm de largura, 08 a 12mm de espessura por até 4 metros de comprimento. Estas medidas

variam em função da espécie, linearidade, espessura das paredes, tipo de corte e da posição em que é retirada da parede do colmo (figura 84), mas é importante ressaltar que as medidas usuais e com maior possibilidade de aproveitamento do bambu por inteiro devem estar próximas de 35mm x 08mm x 210mm (largura, espessura e comprimento respectivamente).

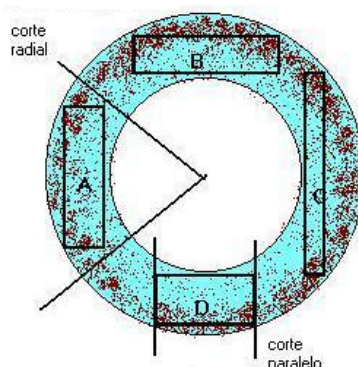


Figura 84: Diferentes cortes e posições para extração das lâminas.
Fonte: STAMM, 2002, p. 03.

Assim que foram obtidas, as ripas ficaram imersas em um tanque durante 48 horas, contendo uma solução de octoborato (10% de ácido bórico) que age nos organismos por ingestão e cipermetrina (1litro a cada 500 litros de água) que age por contato. Essa solução utilizada pela EMBAMBU apresenta bons resultados, pois as ripas já tratadas, quando armazenadas, próximas às que ainda não receberam tratamento, não apresentaram sinais de ataques de fungos ou insetos.

Depois do tratamento, as ripas foram estocadas, por aproximadamente 2 meses, em local protegido e adequado, até que a umidade se aproximasse a 8% deixando-as prontas para o uso. Como a sede da EMBAMBU atualmente encontra-se em fase de ampliação, os dispositivos para o controle da umidade dos bambus ainda não estão disponíveis para avaliar exatamente a condição do material, porém esse fato não compromete o uso das ripas pelo método de secagem natural.

A partir da extração das ripas, é possível desenvolver uma série de produtos que vão desde objetos até estruturas prediais. Para a confecção dos laminados colados empregados nesta pesquisa, as ripas passaram por uma lixadeira elétrica, com lixa grossa, que retirou os nós e protuberâncias existentes e, em seguida, por

uma plaina elétrica de bancada, que deixou plana uma das superfícies das ripas (figura 85).



Figura 85: Plaina elétrica de bancada.
Fonte: Foto da autora.

No caso dos laminados colados, é preciso retirar a camada externa do bambu para garantir uma boa adesão entre as lâminas, assim foi utilizado uma plaina desengrosso de 1 face para esse processo (figura 86). Como acabamento final, as lâminas, já, totalmente planas, passam por uma serra circular de mesa com lâmina vertical, para igualar suas extremidades, deixando-as retas e prontas para uso. As ripas, após passarem por todas as etapas, normalmente reduzem de tamanho, neste caso, as dimensões finais das lâminas situaram-se próximas de 35mm de largura x 06mm de espessura x 210mm de comprimento.



Figura 86: Saída da lâmina da plaina desengrosso de 1 face - retirada da casca.
Fonte: Foto da autora.

Etapa 2: Seleção e agrupamento das ripas para produção dos elementos construtivos.

Como as lâminas apresentavam comprimentos variados e algumas delas inferiores a 1 metro, houve a seleção e o agrupamento em lotes de acordo com as dimensões apresentadas (figura 87), deixando aquelas com comprimentos menores que o módulo básico para produzir elementos de pequenas dimensões.



Figura 87: Agrupamento das lâminas em lotes de acordo com as suas dimensões.
Fonte: Foto da autora.

Etapa 3: Posicionamento das lâminas para receber o adesivo.

Esta etapa incluiu a preparação das lâminas para receber o adesivo e a verificação da presença de sujeiras, imperfeições, ou quaisquer fatores de impedimento à aplicação adequada do adesivo. Após essa inspeção, as lâminas foram posicionadas, sobrepostas umas sobre as outras, para facilitar o processo de aplicação, de modo que, nem o tempo estipulado de uso da cola e nem tempo mínimo para o início da prensagem, fossem extrapolados, comprometendo assim a aderência entre as lâminas. Outro cuidado referente ao posicionamento das lâminas foi o de impedir a coincidência entre os nós na sobreposição das mesmas, para que não houvesse o enfraquecimento de um ponto específico, ocasionado pela baixa resistência dessa região.

Etapa 4: Preparação do adesivo.

Na ausência de normas para a aplicação do adesivo resorcinol-formaldeído em lâminas de bambu, foi seguida a indicação do fabricante que estabelece a quantia de 5 partes da resina para 1 parte do preparado endurecedor FM.

O adesivo foi preparado em porções calculadas em função do tempo para aplicação, tempo de trabalho e quantidade de material.

Etapa 5: Aplicação do adesivo.

A aplicação do adesivo, nas lâminas de bambu, seguiu a recomendação de Carrasco (*et. al.*, 1995), em que a linha adesiva deve ser o mais fina possível preenchendo toda a superfície a ser colada, sendo a relação aproximada, estabelecida entre a quantidade de adesivo aplicado nas lâminas, de 250g/m². Assim, as duas faces das lâminas receberam uma camada de cola, sendo alinhadas logo em seguida (figura 88) e passando, imediatamente, para a prensa manual a frio.



Figura 88: Aplicação do adesivo e alinhamento das lâminas.
Fonte: Fotos da autora.

Etapa 6: Prensagem do material.

A pressão auxilia na penetração do adesivo no substrato e é indispensável na formação da linha adesiva do resorcinol-formaldeído. Para tanto, foi utilizado uma prensa a frio disponível na marcenaria do tipo trilho-sargento (figura 89). Como o maquinário é adaptado e a principal função da marcenaria do *campus* é a produção de mobiliário para a Universidade de Brasília, não havia o torquímetro para conferir a pressão aplicada ao material.

Nestas circunstâncias, o controle da aplicação de força foi feito visualmente, mas de forma cuidadosa, de maneira que as lâminas não ficassem afastadas umas das outras e tampouco muito pressionadas, a ponto de remover todo o adesivo existente nas interfaces.



Figura 89: Lâminas na prensa a frio do tipo trilho-sargento.
Fonte: Foto da autora.

Entre os lotes das peças, tiras de papel jornal foram colocadas, a fim de facilitar o processo de prensagem na retirada dos blocos de lâminas, do mesmo modo que, o uso da fita adesiva auxiliou no alinhamento das lâminas, para que não deslizassem no momento da aplicação da pressão, como pode ser observado na figura 90:



Figura 90: Recursos para facilitar o processo de prensagem do material.
(Lâminas na prensa ainda sem o trilho de pressão central)
Fonte: Foto da autora.

Seguindo o cronograma de trabalho, as lâminas eram colocadas no final da tarde nas prensas, para permanecerem até a manhã seguinte, quando eram substituídas por outro lote de lâminas. Este processo, realizado em duas manhãs, foi necessário, pois não havia prensas o suficiente e elas não comportavam todas as peças de uma só vez. Com isto, o tempo de cura foi superior ao fornecido pelo fabricante, fato este que não interfere na qualidade da linha de cola.

Na tabela 19, constam as recomendações especificadas na embalagem do produto, quanto ao tempo de colagem segundo o fabricante da Cascophen RS:

Tabela 19: Recomendação do tempo de cura.

Temperatura ambiente	21° C	25°C	30°C
Tempo em horas	10	6	3 ½

(Fonte: Instruções de uso do produto).

Etapa 7: Usinagem dos componentes.

Ao término do processo de prensagem das ripas laminadas de bambu, deu-se início à fase de usinagem dos componentes da treliça, começando pela desempenadeira que regularizou uma das faces dos blocos de lâminas conforme a figura 91 (a) e (b).



Figura 91: (a) Componentes na desempenadeira e (b) Após o processo com 1 face plana.
Fonte: Fotos da autora.

Em seguida, todas as peças passaram pelo desengrosso, de modo que a espessura atribuída a cada elemento fosse atingida, ocorrendo, como consequência, a regularização da outra face (figura 92).



Figura 92: Elementos no desengrosso.
Fonte: Fotos da autora.

Para acertar as demais faces, bem como, deixar as peças nos comprimentos estipulados no desenho dos componentes, foi utilizada uma serra circular de bancada (figura 93). O formato dos elementos contribuiu muito para a simplificação de todo o processo de usinagem, tornando o manuseio adequado, inclusive, à mão-de-obra não acostumada ao trabalho com bambus.



Figura 93: Elementos trabalhados na serra circular de bancada.
Fonte: Fotos da autora.

Estando todos os componentes, nas dimensões recomendadas, o passo seguinte foi o uso de uma lixadeira elétrica de fita (nº. 50) para dar os primeiros acabamentos, como na figura 94 abaixo:



Figura 94: Peças na lixadeira elétrica e já prontas com os primeiros acabamentos.
Fonte: Fotos da autora.

Etapa 8: Produção dos elementos compostos.

Na seqüência, foram separadas as peças usinadas para a produção dos elementos compostos, projetados para formarem os banzos, superior e inferior, da treliça. Os procedimentos adotados para tal seguem os já descritos nas etapas 5: Aplicação do adesivo e 6: Prensagem das lâminas, acrescidos de algumas particularidades que envolvem a união dos módulos, conforme a figura 95.

É possível observar na foto, o uso de grampos do tipo sargento. Esta solução foi adotada, pois os componentes se deslocavam verticalmente, deformando a seção da peça. Outro recurso foi colocar as demais peças produzidas entre os componentes, no intuito de manter os espaçamentos corretos. Mesmo que a pressão seja aplicada, somente no centro dos componentes, suas extremidades tendem a se fechar, e, caso esse recurso não fosse utilizado, no momento da execução do protótipo, não haveria espaço o suficiente para a conexão entre as peças, impossibilitando assim, a montagem da treliça.



Figura 95: Elementos compostos na prensa a frio.
Fonte: Foto da autora.

Cabe destacar que, essas medidas foram tomadas diante dos resultados obtidos na execução do primeiro protótipo, feito com adesivo PVA, as informações coletadas serviram como base para os aprimoramentos do desenho e execução da treliça aqui apresentada.

Com relação ao acabamento dos elementos compostos, estes passaram novamente na desempenadeira, somente para nivelar a superfície das peças, com o mínimo de desgaste do material (figura 96). Já o excesso de cola, que não foi retirado no processo anterior, foi removido manualmente com uma raspilha de aço e finalizados com lixas de nº 80 e nº 120.



Figura 96: Nivelamento das superfícies dos elementos compostos na desempenadeira.
Fonte: Foto da autora.

Etapa 9: Perfuração dos componentes.

Essa etapa seguinte consistiu na perfuração das peças, de acordo com as especificações do dimensionamento estrutural. Aqui, o uso do gabarito apresentou-se como uma vantagem atribuída ao sistema, para a locação e execução das aberturas dos parafusos. Este gabarito, feito em madeira, permitiu maior precisão na perfuração das peças com a furadeira de bancada, empregando uma broca de $\frac{1}{2}$ polegada, em conformidade com o diâmetro do parafuso dimensionado para o protótipo (figura 97).



Figura 97: Método de perfuração com gabarito usado na furadeira de bancada.
Fonte: Fotos da autora.

Julgou-se ser mais interessante, posicionar os elementos na treliça permanentemente, evitando nesse caso, a intercambialidade entre as peças. Isso se deve ao fato de que, num processo artesanal de produção, por mais que se busque

a perfeição, nem sempre o produto se conclui com a precisão especificada em projeto. Dessa forma, na medida em que os componentes eram perfurados, era acrescida uma numeração indicando a sua locação na estrutura.

Nesse enfoque, a perfuração das diagonais se mostrou mais trabalhosa, pois os banzos, superior e inferior, precisavam estar montados para a distribuição das barras, de modo que, uma estrutura com 3,25 metros de vão, não caberia na furadeira de bancada, restando a alternativa do uso de uma furadeira manual, vista na figura 98:



Figura 98: Marcação das aberturas e posterior perfuração com a furadeira elétrica manual.
Fonte: Fotos da autora.

Etapa 10: Acabamento.

O processo final consistiu em aplicar o selador nos elementos, com a finalidade de impermeabilizá-los. Para tanto, foi utilizado uma pistola de ar-comprimido contendo o selador incolor, sendo que, antes de cada demão, as peças foram lixadas (lixa nº 120), totalizando três demãos para o acabamento. A aplicação do selador é mostrada na figura 99:



Figura 99: Acabamento final com a aplicação do selador.
Fonte: Fotos da autora.

Assim, a fase que envolveu a confecção da treliça do tipo *Warren*, buscou a sistematização de todos os processos, no intuito de simular ao máximo as condições reais de trabalho na pré-fabricação dos componentes.

Além da coleta de informações para o aprimoramento do sistema construtivo proposto, a construção de um protótipo em laminado colado de bambu, permitirá a realização de ensaios para averiguação da sua eficiência estrutural, descritos no capítulo seguinte.

2.2 ENSAIO

2.2.1 PROCEDIMENTOS

Com o objetivo de avaliar a capacidade estrutural da treliça confeccionada com o sistema construtivo em bambu laminado colado, foi realizado um ensaio com carga aplicada nos nós da estrutura até a sua ruptura, a fim de que os valores resultantes dessa experimentação fossem comparados àqueles estabelecidos teoricamente no dimensionamento.

Para tanto, foi utilizado um sistema hidráulico apoiado sobre uma viga de reação de 10 metros de comprimento (figura 100a) que, juntamente com a fonte de pressão (figura 100b), fornece informações como: a força aplicada, a velocidade de aplicação e a flecha do protótipo ensaiado.

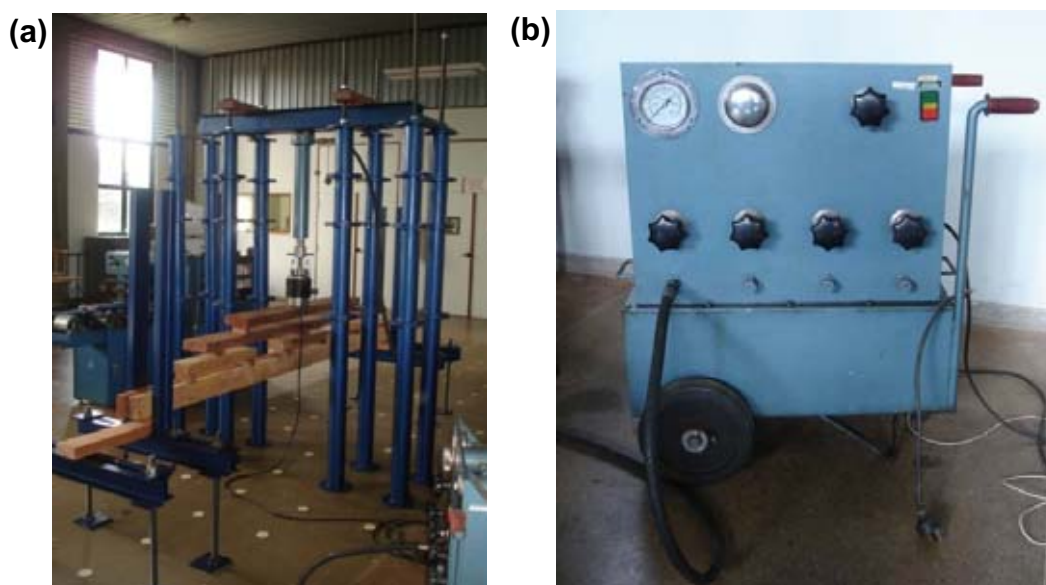


Figura 100: (a) Sistema hidráulico apoiado sobre a viga de reação e (b) fonte de pressão.
Fonte: Fotos da autora.

O registro da carga aplicada é feito por um medidor portátil (figura 101 a) e a flecha é medida por um relógio comparador, ou extensômetro (figura 101 b). Esses valores, obtidos através de um sistema de aquisição de dados manual, são transmitidos a um computador que registra graficamente a carga e o deslocamento. A escala do papel utilizado foi de 1000 Kgf (100 mV no ploter), com velocidade de 5 cm/min e pontos marcados a cada 0,25 mm de flecha.



Figura 101: (a) Medidor portátil e (b) extensômetro já posicionado na estrutura.
Fonte: Fotos da autora.

Os procedimentos adotados neste ensaio, realizado no Departamento de Engenharia do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, bem como, os resultados obtidos são expostos no item seguinte.

2.2.2 ENSAIO DO PROTÓTIPO

A treliça foi submetida à aplicação de carga de 12000N, ou seja, de 2000N a cada nó, observando o seu comportamento mecânico até o momento de ruptura. Para que as forças fossem igualmente distribuídas pela estrutura, foi adotada uma solução para a descentralização das cargas, feita em madeira, conforme a figura 102:

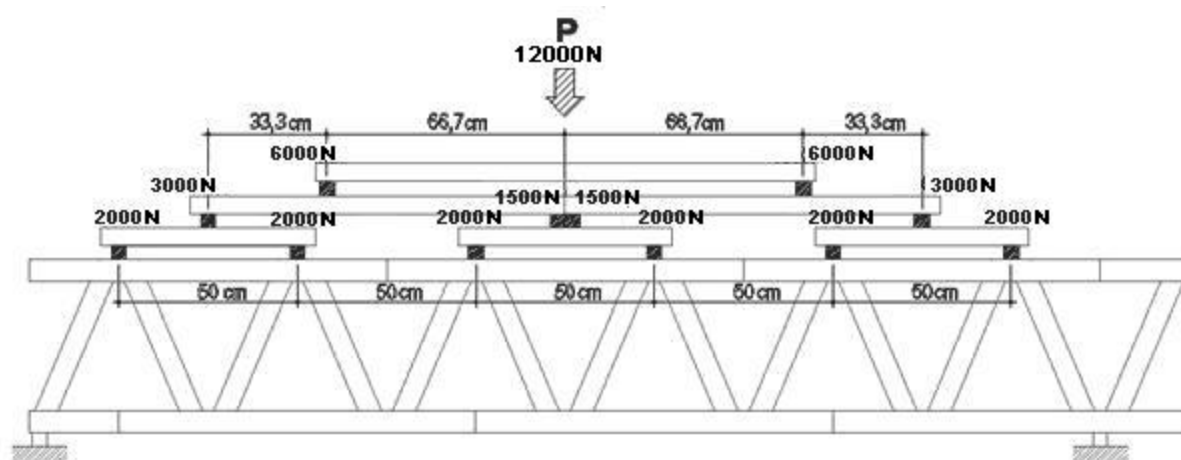


Figura 102: Sistema de barras para distribuição uniforme das cargas aplicadas.
Fonte: Desenho da autora.

Essa solução foi de suma importância, para que o carregamento não fosse aplicado somente no centro da estrutura. Para tal procedimento, a treliça ficou deslocada em relação aos apoios, de maneira que a região mediana da peça foi determinada em função dos nós, e não do comprimento real do protótipo.

Na realização do ensaio, o carregamento foi constantemente aplicado pelo cilindro hidráulico, com a célula de carga posicionada no meio do vão. A tabela 20 expõe os valores obtidos, seguidos pela figura 103 que mostra o gráfico gerado pela relação: aplicação de carga *versus* tempo.

Tabela 20: Acréscimo de carga em relação ao tempo.

Carga (N)	Tempo (s)	Carga (N)	Tempo (s)
534,5	12	4694,5	108
594,5	24	5554,5	120
754,5	36	6454,5	132
1054,5	48	7334,5	144
1494,5	60	8274,5	156
2114,5	72	9054,5	168
2914,5	84	9854,5	180
3794,5	96	10434,5	192

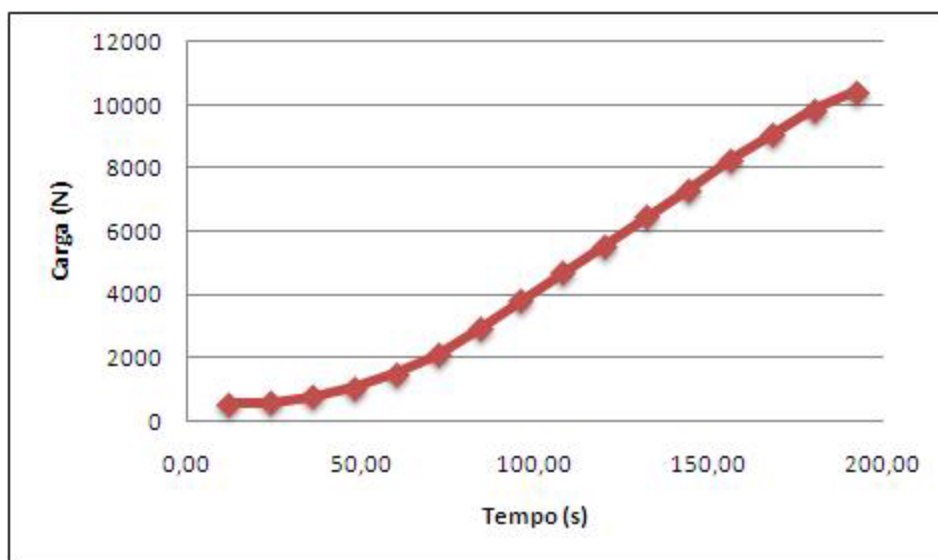


Figura 103: Gráfico gerado pela relação: aplicação de carga *versus* tempo.

As leituras dos deslocamentos verticais (flecha) em relação às forças aplicadas foram realizadas no meio do vão, ponto de maior flecha, correspondente ao nó de número 7, através do extensômetro, resultando na tabela 21:

Tabela 21: Leituras dos deslocamentos verticais em relação às forças aplicadas.

	Carga (N)	Flecha (mm)		Carga (N)	Flecha (mm)
1	600	0,25	8	3500	2,00
2	1200	0,50	9	3600	2,25
3	1600	0,75	10	3900	2,50
4	2100	1,00	11	4100	2,75
5	2500	1,25	12	4450	3,00
6	2900	1,50	13	4700	3,25
7	3200	1,75	14	5050	3,50

O gráfico da figura 104 mostra a relação entre a carga aplicada e a flecha na parte central do vão da treliça:

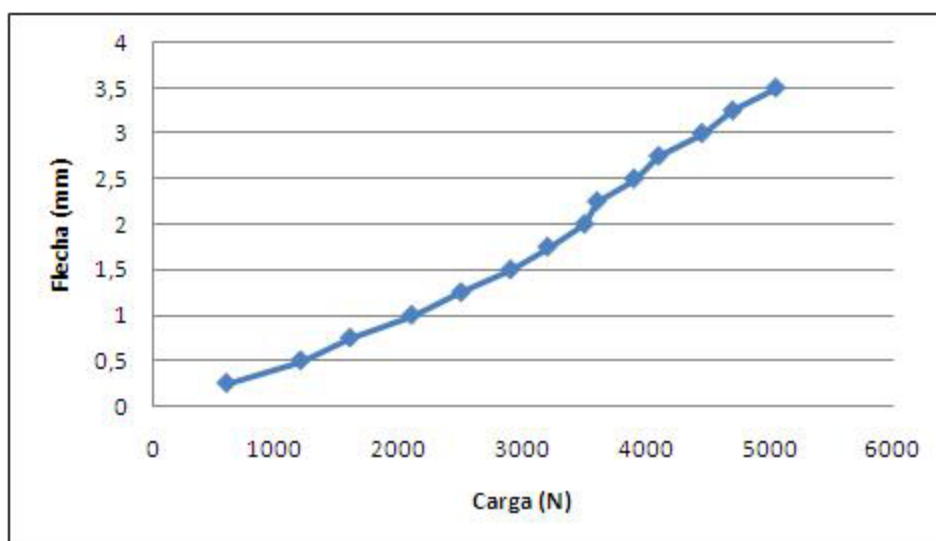


Figura 104: Gráfico gerado pela relação entre a carga aplicada e a flecha na região central da treliça

Devido ao comportamento estrutural do protótipo a partir 5050N o extensômetro foi retirado e o carregamento continuou a ser aplicado para averiguação da capacidade da estrutural da treliça, até a sua ruptura. A carga máxima resultante desse processo atingiu 12200N

O rompimento da estrutura ocorreu, primeiramente, na extremidade superior da peça, entre uma ligação parafusada, seguida pelo afastamento das fibras do bambu, atingindo também, em alguns pontos, a linha de cola (figura 105).



1. Local de ruptura da peça



2. Ruptura na ligação



3. Ruptura na ligação (face posterior).



4. Afastamento nas fibras do bambu.



5. Afastamento das fibras do bambu (1) e ruptura na linha de cola (2) - face posterior.



6. Afastamento nas fibras do bambu (1) e ruptura na linha de cola (2).



6. Ruptura na linha de cola.



6. Visão geral da estrutura rompida.

Figura 105: Seqüência de ruptura da estrutura no ensaio.
Fonte: Fotos da autora.

O experimento confirma, pelo tipo de ruptura ocorrida, a baixa resistência, mesmo no bambu laminado colado, quando submetido às tensões perpendiculares as fibras. Nesse aspecto, cabe recomendar, que em peças muito solicitadas estruturalmente, as uniões parafusadas, sejam substituídas por uniões coladas, caracterizando um sistema rígido e mais resistente.

Com relação à ruptura na linha de cola, podemos dizer que este não é desempenho natural dos laminados colados, uma vez que, a união adesiva concorre para que as peças se comportem como uma estrutura única, maciça. Portanto, não poderia ter ocorrido a abertura na linha de cola, levando-nos a três conclusões: a baixa qualidade das lâminas, devido à presença de algumas imperfeições; a existência de falhas no protótipo, pela ausência de condições ideais para a sua execução; e/ou o adesivo utilizado não é o mais indicado para as propriedades do bambu, indicando a necessidade de ensaios específicos e normatizados.

2.3. RESULTADOS E ANÁLISES

2.3.1 QUANTO À EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A proposta de um sistema construtivo em laminado colado de bambu, bem como o exercício da experimentação, apresentou-se como uma importante ferramenta para compreender as vantagens e dificuldades que envolvem tal procedimento.

Pode-se constatar que o desenvolvimento de um detalhamento técnico foi de fundamental importância para o planejamento de todas as etapas que envolvem os experimentos práticos desta pesquisa. Ao elaborar o desenho da treliça, foi possível analisar em conjunto, o material e a tecnologia escolhida, do ponto de vista técnico-construtivo, auxiliando na quantificação do material e no seu melhor aproveitamento.

O desenho do protótipo permitiu, ainda, elaborar, através de um programa computacional, o dimensionamento estrutural, determinando os valores dos esforços submetidos à treliça de bambu laminado colado. Com isso, foi possível efetuar o dimensionamento das ligações entre as peças, que, utilizando as propriedades

mecânicas do bambu aplicadas à metodologia da madeira, forneceu os espaçamentos adequados dos parafusos, juntamente com a capacidade de carga e a flecha estimada teoricamente.

Com relação a execução do protótipo foi constatada influência do número limitado de lâminas no acabamento das peças, pois não houve a possibilidade de correção de algumas imperfeições encontradas durante o processo, entre elas, as diferenças dimensionais entre os elementos compostos utilizados nos banzos, provocadas pela usinagem das peças (figura 106) e a presença de algumas falhas nas lâminas.



Figura 106: Irregularidade dimensional entre a união das peças compostas.
Fonte: Foto da autora.

No caso das arruelas, por exemplo, percebeu-se a necessidade do seu uso nas duas extremidades do parafuso, em razão do esmagamento das fibras, provocadas pela pressão exercida pela cabeça dos parafusos (figura 107).



Figura 107: Fibras do bambu esmagadas pela cabeça dos parafusos.
Fonte: Foto da autora.

Pode-se citar também, que em função do tamanho dos parafusos ($\frac{1}{2}$ polegada), as arruelas correspondentes a eles, possuíam um diâmetro avantajado, que quando posicionadas lado a lado, não se ajustavam às dimensões dos componentes de bambu laminado colado, sendo necessário, nesses casos, fracionar parte das arruelas utilizadas, como demonstra a figura 108.



Figura 108: Ajuste em parte das arruelas.
Fonte: Foto da autora.

Essa situação poderia ser evitada de duas maneiras: ou aumentando a seção das peças de bambu no sentido transversal, na ocasião impedida pelo número exato de lâminas existentes. Ou em circunstâncias reais de emprego da treliça, há a possibilidade de reduzir o diâmetro dos parafusos, diminuindo, assim, a capacidade estrutural das ligações.

Destaca-se que esses fatos ocorrem, principalmente, em função do processo artesanal de produção, onde não houve um rígido controle de qualidade, que deve abranger as etapas iniciais, desde plantio e colheita dos bambus, passando pela execução, até chegar ao produto final, nesse caso, a treliça de bambu laminado colado.

Essas irregularidades comprometem somente a aparência da estrutura, visto que o objetivo principal dessa etapa foi o de analisar a viabilidade construtiva do sistema. Nesse aspecto, pode-se afirmar que mesmo em um processo artesanal de produção, a fabricação de componentes utilizando o sistema proposto, se desenvolveu de maneira fácil e sem maiores imprevistos.

Verificou-se que o uso da coordenação modular, a escolha das ligações e a simplicidade do perfil dos componentes facilitaram, sobremaneira, a confecção do protótipo. Soma-se a isso, a possibilidade de se produzir componentes com perfis

comerciais, inclusive, com o emprego de mão-de-obra de fácil treinamento, constatado pelo fato de que, nenhum dos envolvidos na execução do protótipo, estava habituado ao trabalho com os laminados colados de bambu.

Já a montagem aconteceu da maneira esperada, em que a marcação aferida e a proposta semelhante aos “jogos de montar”, permitiram que a estrutura fosse montada e desmontada, sempre que necessário, não afetando o seu desempenho ou forma. Como resultado final, acrescenta-se a aparência visual dos elementos, que apresentou um aspecto agradável em relação a cor, forma e conjunto da obra, características importantes e avaliadas pelo consumidor final, no ato da compra.

Na avaliação do sistema construtivo, em relação ao transporte, observou-se a extrema facilidade com que essa operação pode ser realizada. Os componentes produzidos foram de dimensões e peso compatíveis ao transporte em veículos de pequeno e médio porte, facilitado pela possibilidade de montagem e desmontagem da treliça, atendendo, portanto, aos propósitos estabelecidos

Ressalta-se que a análise dos custos envolvidos nesta pesquisa, não fez parte dos objetivos estabelecidos, de modo que, os indicadores buscados no exercício experimental visaram avaliar, somente, as possibilidades técnico-construtivas. Entretanto, seria altamente recomendável mensurar esses valores futuramente, a fim de estabelecer a viabilidade econômica da pré-fabricação dos componentes, em uma escala industrial de produção.

Frente aos objetivos impostos para o exercício da experimentação, julga-se que o sistema é perfeitamente exequível, principalmente, se transportado para um ambiente industrial, onde haverá o controle de qualidade englobando todas as etapas de produção, desde o plantio e manejo dos bambus, até o produto final a ser comercializado. Acredita-se que no sistema fabril, é possível uma alta produtividade com conseqüente redução de custos, aliados à qualidade de pré-fabricação dos componentes.

O resultado dessa avaliação, visando ao aprimoramento do sistema construtivo em bambu laminado colado, permite estabelecer alguns critérios básicos, tais como:

- a) O gerenciamento global de todo o processo de produção, através do controle de qualidade, repassada ao material e, conseqüentemente, do produto final;
- b) Estabelecimento de parcerias para o fornecimento de matéria-prima, estimulando o plantio e o manejo adequado dos bambuais;
- c) Planejamento da produção, abrangendo a matéria-prima, mão-de-obra e maquinário, objetivando a redução dos desperdícios e alta produtividade;
- d) Infra-estrutura e equipamentos próprios ao beneficiamento do bambu e compatíveis com a escala de fabricação; e
- e) Levantamento dos custos envolvidos para a pré-fabricação e disponibilização dos componentes para o mercado consumidor;

Essas sugestões preliminares já permitem o avanço em direção ao desenvolvimento da tecnologia adotada, no intuito de propor um sistema, que avalie os critérios assinalados com vistas ao seu contínuo aperfeiçoamento.

2.3.2 QUANTO AO ENSAIO REALIZADO

O objetivo do ensaio foi determinar o comportamento estrutural do protótipo desenvolvido com a aplicação do bambu laminado colado, bem como, comparar os resultados obtidos no ensaio com os simulados teoricamente.

Nesse aspecto destaca-se que a treliça não atingiu as expectativas quando submetida à aplicação de esforços, visto que a estrutura rompeu com a carga que, segundo o seu dimensionamento, deveria se suportada.

Em consonância, os resultados da leitura dos deslocamentos verticais apresentaram significativas diferenças, entre ambos os experimentos. Para cada procedimento foi traçado, embasados nos valores da tabela 22, a curva indicando as flechas resultantes das aplicações constantes de cargas, conforme o gráfico da figura 109.

Tabela 22: Flechas obtidas via *software*, via ensaio e flecha admissível.

Carga (N)	Flechas obtidas via <i>software</i> (cm)	Flechas obtidas no ensaio (cm)	Flecha admissível (cm)
3000	0,05	0,10	0,85
5050	0,09	0,35	
12000	0,22	-	

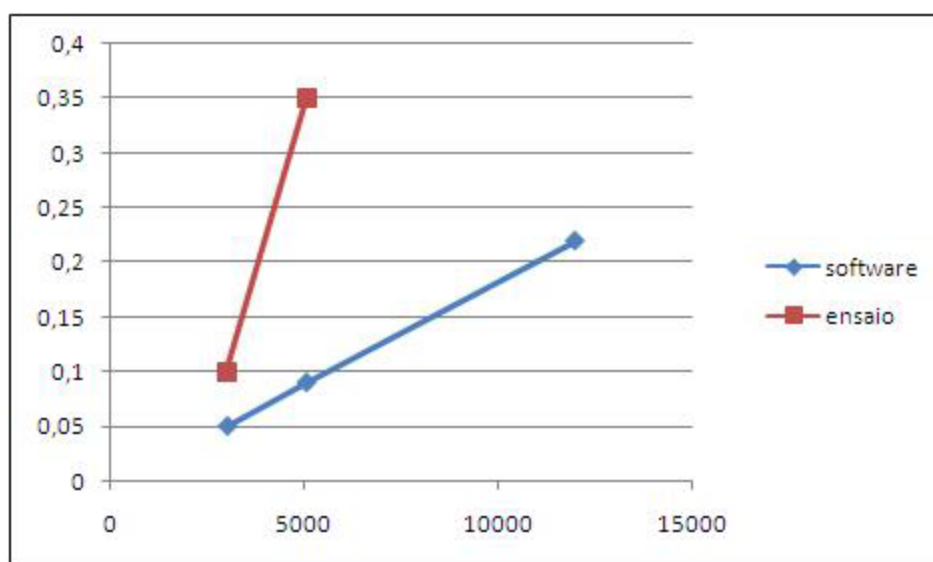


Figura 109: Flechas resultantes dos experimentos teórico e prático.

Como pode ser observado nos dados apresentados, as flechas estabelecidas pelo programa computacional são inferiores às flechas obtidas via ensaio. Da mesma forma, as flechas de ambos os procedimentos são bastante distantes da flecha admissível, revelando serem as dimensões das seções dos elementos estruturais maiores do que o necessário, ao observarmos os deslocamentos verticais. Atribui-se à essa diferença entre os valores, muito elevada em alguns pontos, ao fato, do cálculo estrutural ser realizado com as propriedades do bambu aplicados à metodologia desenvolvida para a madeira.

Neste contexto, Salgado (2006) explica que a tentativa de transferir o conhecimento tecnológico desenvolvido para as madeiras ao bambu, dificilmente resulta em uma solução totalmente adequada, por se tratar de matérias-primas totalmente diversas em seus aspectos anatômicos, químicos e físicos.

Essa compreensão ressalta ainda mais a necessidade de elaboração de métodos de dimensionamentos e de ensaios próprios para o bambu. O

estabelecimento de normas específicas contribui, significativamente, para o pleno uso do material, atribuindo segurança e precisão ao dimensionamento e execução de estruturas.

Baseado no comportamento do protótipo, verifica-se a viabilidade do sistema construtivo para produção de elementos estruturais de bambu laminado colado. Entretanto, os valores obtidos caracterizam uma aproximação do desempenho estrutural do sistema proposto através do ensaio realizado com a treliça.

Recomenda-se, portanto, a realização de outros ensaios com diferentes elementos do sistema construtivo proposto, bem como, com os demais sistemas estruturais básicos possíveis, a fim de comprovar, ampla e eficazmente, o real desempenho do sistema construtivo em bambu laminado colado.

CAPÍTULO III – CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada, na revisão de literatura, indicou que a utilização do bambu na construção civil é altamente desejável, tendo em vista os benefícios técnicos e ambientais proporcionados por essa matéria-prima, que além de renovável, atua na recuperação de áreas degradadas, no controle da erosão, no resgate de gás carbônico, entre outros, contribuindo significativamente para a proteção do meio-ambiente.

Com os recursos naturais não-renováveis tornando-se cada vez mais escassos, percebeu-se que o cultivo do bambu, através do manejo sustentável, significa uma fonte permanente de matéria-prima e oferece uma opção tecnológica para a construção civil.

Observa-se, porém, que o uso do bambu em sua forma geométrica natural, num contexto urbano e para fins industriais, apresenta certas limitações em nosso país, que não detém uma tradição fortemente desenvolvida a partir desse insumo, como, por exemplo, a Colômbia e o Equador, e tampouco dispõe de um sistema educacional que contemple o bambu como parte da cultura nacional e passível de exploração.

Nesse aspecto, verificou-se que a assimilação dos conceitos da pré-fabricação para a concepção de estruturas em bambu abre novos horizontes para o seu emprego de modo racionalizado em diversos setores da construção civil.

Este fato imprime um avanço na direção da industrialização desse material, que em conformidade com as características da produção em série, permite grande agilidade de execução e qualidade nos produtos ofertados, características essas que o permitirão concorrer com os sistemas convencionais que hoje dominam o mercado de obras.

Constatou-se que a versatilidade do sistema construtivo, incentiva a busca por novas soluções projetuais, que através do módulo básico e suas ampliações admissíveis multiplicam suas próprias possibilidades, permitindo inclusive, a eventual combinação desses elementos estruturais com diferentes sistemas

construtivos, aumentando ainda mais as opções do uso dos componentes pré-fabricados de bambu.

Pôde-se observar que a idéia de utilização do pré-fabricado de bambu laminado como elemento estrutural não é inovadora, porém, o levantamento bibliográfico revelou que as contribuições referentes a essa tecnologia, encontram-se timidamente difundida em nosso país.

Foi verificada a não utilização do bambu, enquanto componente estrutural na construção civil. Considerando as potencialidades construtivas desse material, as pesquisas nessa área, a inclusão de informações sobre suas possibilidades de uso no sistema educacional, somadas a ações político-sociais são, portanto, de fundamental importância para uma inovação tecnológica a partir desse insumo, concorrendo para a modificação dos processos construtivos tradicionais tão arraigados em nossa cultura nacional.

Nesse contexto, ficou claro que os profissionais atuantes no setor construtivo podem, a partir da elaboração de um número maior de normas técnicas que regulamentem o uso do bambu na construção civil, inverter esse cenário. A especificação do bambu, como material integrante da edificação, pode estimular a criação de uma cadeia produtiva a partir dessa matéria-prima, gerando novas oportunidades de investimento e de trabalho.

Percebeu-se que o ensaio, envolvendo a elaboração do projeto arquitetônico, a execução do protótipo em escala real e o ensaio realizado, caracterizou-se como uma importante contribuição para compreensão da viabilidade técnico-construtiva do sistema proposto. Ficou, também, evidenciado nessa etapa que as valiosas trocas de conhecimento e experiência com diferentes profissionais, acrescentaram muito no aprendizado sobre bambus e sobre as variáveis existentes em um sistema construtivo.

Mesmo não contando com condições ideais para a execução do protótipo, ocasionada pela ausência de ferramentas específicas e equipamentos para o controle da pressão e da umidade das lâminas, por exemplo, ficaram confirmadas as vantagens alcançadas com a técnica adotada da construção em série, e em

especial, a simplificação dos processos de fabricação, de montagem dos componentes e a flexibilidade modular, culminando em bons resultados, inclusive, estéticos.

Na análise do comportamento estrutural do protótipo da treliça plana do tipo *Warren*, em comparação aos valores estabelecidos teoricamente, destacou-se a obtenção de resultados bastante distintos entre as duas metodologias, sendo que os valores alcançados na realização do ensaio demonstraram que a resistência mecânica do protótipo é inferior a estimativa de cálculo, quando submetida aos mesmos esforços solicitantes.

Mediante a essa análise comparativa, pode-se supor que os valores teóricos admitidos para o bambu estão supervalorizados e que, o uso das propriedades do bambu aplicadas à metodologia de cálculo para a madeira, demonstra à imprecisão de tal método.

Constatou-se que a falta de critérios de dimensionamento, voltados para as estruturas de bambu laminado colado, ressaltam que, tão importante quanto à determinação das propriedades mecânicas das lâminas bambu, por meio de ensaios padronizados, é a elaboração normas específicas, no sentido oferecer respaldo técnico e aferir mais segurança à elaboração dos projetos estruturais.

De fato, com a experimentação levada a efeito, foi possível estabelecer apenas uma análise preliminar do sistema construtivo de bambu laminado colado, confirmando a necessidade de um maior número de ensaios, que possibilitem a definição da capacidade de carga de diferentes formas estruturais e não somente de uma treliça, mas também de outros componentes construtivos, como por exemplo, das vigas, dos pilares e pórticos. Entretanto, os resultados obtidos nesse processo não descartam a possibilidade de uso dos elementos estruturais pré-fabricados propostos.

Deve-se salientar que o trabalho procurou mostrar um caminho para um estudo que se faz necessário. Sem ter, entretanto, a pretensão de alcançar resultados precisos, limitando-se apenas a obter estimativas.

As estruturas pré-fabricadas de bambu laminado colado qualificam-se, portanto, como uma alternativa real, com benefícios ambientais e tecnológicos eminentes, para o setor da construção e tem condições de participar desse mercado altamente competitivo.

Economicamente, acredita-se que uma das vantagens existentes na pré-fabricação de elementos construtivos de bambu, é o aproveitamento racional dessa matéria-prima e a agilidade nos processos de fabricação dos componentes e montagem das estruturas.

Mas, diante da necessidade de potencializar os investimentos e competir com os demais sistemas construtivos existentes, torna-se evidente a necessidade em demonstrar que os resultados econômicos mais vantajosos, quando se adota um sistema construtivo pré-fabricado em bambu, vão além da redução de prazos e desperdícios.

Com os indicadores obtidos na produção dos componentes, sugere-se para a elaboração de trabalhos futuros a realização de estudos sobre a viabilidade econômica do sistema proposto, que deve procurar abranger desde o cultivo do bambu, até a durabilidade dos elementos estruturais, levando em conta os seguintes fatores:

- a) A escala e o regime de produção, em função da capacidade dos equipamentos de unidades produtoras, adequadas ao beneficiamento do bambu;
- b) A infra-estrutura necessária, incluindo a mão-de-obra e o consumo dos materiais; e
- c) O custo total da pré-fabricação dos componentes, bem como, as possibilidades de rentabilidade financeira, através de um estudo sobre o potencial do mercado consumidor desse produto.

Ainda em continuidade ao aprimoramento da proposta, é possível acrescentar como sugestão para as próximas pesquisas, algumas variáveis que interferem nas etapas de pesquisa e produção de tecnologias construtivas como, por exemplo:

a) Disseminar a cultura do bambu dentro do sistema educacional, através de práticas pedagógicas que estimulem o uso e a pesquisa dessa matéria-prima em todas as fases de aprendizado do aluno, abrangendo desde as séries iniciais até o nível superior, bem como, os cursos técnicos e profissionalizantes.

b) Promover a capacitação técnico-científica da mão-de-obra e dos demais profissionais, multiplicadores da cultura do bambu.

c) A elaboração de mecanismos para o controle de qualidade em todas as etapas que envolvem a pré-fabricação dos componentes, e em especial, à oferta de matéria-prima, visando à garantia dos processos e produtos ofertados;

d) A caracterização dos diferentes aspectos mecânicos, físicos e químicos, relacionados ao bambu, de modo que os valores obtidos definam, seguramente, o comportamento das estruturas elaboradas com esse material;

e) Verificar a possibilidade do uso de adesivos, proveniente de fontes renováveis, como é o caso do adesivo à base da mamona, no intuito de oferecer alternativas mais econômicas e sustentáveis, em comparação às resinas fenólicas;

f) Propor um sistema de tolerâncias dimensionais à modulação dos componentes; e

g) Por fim, a produção em escala dos componentes construtivos em situações reais, como condição fundamental para verificar a viabilidade da pré-fabricação em série, analisando todo processo de produção de forma industrial.

A partir da constatação de que o emprego das lâminas de bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus* em sistemas construtivos abertos e voltados para pré-fabricação de elementos estruturais, é plenamente viável, espera-se que os resultados obtidos impulsionem novas investigações, no sentido de buscar tecnologias construtivas que estimulem ainda mais o uso do bambu no Brasil.

ANEXO I

Tabela 23: Diâmetro do parafuso (δ) e coeficiente (η).

Diâmetro do parafuso (δ)	0,62 cm	0,95 cm	1,25 cm	1,6 cm	1,8 cm	2,2 cm
Coeficiente η	2,50	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do parafuso (δ)	2,5 cm	3,1 cm	3,8 cm	4,4 cm	5,0 cm	7,5 cm
Coeficiente η	1,27	1,19	1,14	1,10	1,07	1,00

(Fonte: Melo, 2008, p. 44)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, João Luiz. *Cultura do bambu*. Informe de Pesquisa. Instituto Agronômico do Paraná. Ano III, n. 22, setembro de 1979.

ALMEIDA, Jaime Gonçalves de. *Projetando com bambus: consideração ao paradigma e ao típico*. Brasil Florestal, Brasília, ano XXIII, n. 80, p.37-49, ago. 2004.

_____. *Artesanato de Bambu na China: Relato e reflexões sobre um curso de treinamento na província de Sichuan*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

_____. *Sobre a REDEBAMBU – Brasil*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

ALVES, José Dafico. *Materiais alternativos de construção*. Goiânia: Editora da UCG, 2006.

ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. *Coordenação Dimensional como Ferramenta para a Qualidade em Projetos de Habitação Popular*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

ARAÚJO, Márcio Augusto. *Casas ecológicas*. Disponível em: <http://www.idhea.com.br>. Acesso em: outubro, 2005.

AZZINI, Anísio; BERALDO, Antonio Ludovico. *Determinação de fibras celulósicas e amido em cavacos laminados de três espécies de bambu gigante*. Scientia Forestalis, n. 57, p. 45-51, jun., 2000.

AZZINI, Anísio; SALGADO, Antônio Luiz de Barros. *Possibilidades agrícolas e industriais do bambu*. O Agrônomo. Campinas, vol. 33, p.61-80, 1981.

_____. *Conservação do bambu*. O Agrônomo. Campinas, vol. 46, p. 01-03, 1994.

AZZINI, Anísio; SALGADO, Antonio Luiz de Barros; CIARAMELLO, Dirceu. *Velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu*. O Agrônomo. Campinas, SP. vol. 41 (3), 1989.

BARBOSA, Juliana Cortez; INO, Akemi. *Ligações em estruturas pré-fabricadas de bambu: sistematização das técnicas*. In: NUTAU - Núcleo de Tecnologia Arquitetura e Urbanismo - Pré-moldados e habitação social, 1996.

BARBOSA, Maysa Fontoura. *Análise de estratégias de execução para edifícios verticais com diferentes sistemas construtivos*. Dissertação de mestrado, 124f. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

BERALDO, Antonio Ludovico. *Bambucreto: O uso do bambu como reforço do concreto*. In: XVI CONBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais. Jundiaí/SP, v. II, Jul., p. 521-530, 1987.

_____. *Características do bambu*. Disponível em: <http://www.agr.unicamp.br/bambubrasilis>. Acesso em fev. 2006.

BERALDO, Antonio Ludovico; RIVERO, Lourdes Abbade. *Bambu laminado colado (BLC)*. *Floresta e Ambiente*, v. 10, n.2, p.36 - 46, ago./dez. 2003.

BERALDO, Antonio Ludovico; ZOULALIAN, André. *Bambu-material alternativo para construções rurais*. In: V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM. Anais, v. II. Belo Horizonte, 1995.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. *A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção*. Tese de doutorado, 263p. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2004.

BOFF, L. *Saber cuidar: Ética do humano, compaixão pela Terra*. Rio de Janeiro: Vozes, 1999.

BONO, Cynara Tessoni. *Madeira laminada colada na arquitetura: sistematização de obras executadas no Brasil*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

CALLIA, Vinício Walter. *Madeira laminada colada de Pinho do Paraná: Seu emprego nas estruturas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1958.

CAMPOS, Paulo Eduardo Fonseca de. *Novos paradigmas do ciclo aberto: componentes de valor agregado*. Disponível em: www.comunidadeconstrucao.com.br. Acesso em abr. 2007.

CARDOSO Jr., Rubens. *Arquitetura com Bambu*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

CARRASCO, Edgar V. Mantilla; MOREIRA, Luis Eustáquio; XAVIER, Poliana Ventura. *Bambu laminado e colado*. In: V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM. Anais, v. II. Belo Horizonte, 1995.

CARVALHO, Antônio Pedro Alves de. *Coordenação modular*. 2003. Disponível em: www.gerenciamento.ufba.br. Acesso em out., 2007.

CASAGRANDE, Eloy Fassi Jr. *O bambu na interação academia-comunidade em projetos sociais*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

CHUGG, W. A. *Glulam: The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structures*. Londres: Ernest Benn Limited, 1964.

DIAS, Fernando de Mendonça; ROCCO LAHR, Francisco A. *Adesivo à base de mamona para compensado*. Revista da Madeira. Ano 13 , n. 72, maio, 2003.

DUNKELBERG, Klaus. *IL31 Bamboo: Bamboo as a building material*. Institute of Lightweight Structures: Stuttgart , 4 ed., 1985.

ENGEL, Heino. *Sistemas de estructuras/ sistemas estruturais*. V. 2. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001.

FERREIRA, Núbia dos Santos Saad. *Estruturas lamelares de madeira para coberturas*. Madeira: arquitetura e engenharia, São Carlos, ano 1, n. 2, p. 7-12, mai./ago. 2000.

FILGUEIRAS, Tarciso S.; GONÇALVES, Ana Paula Santos. *Bambus nativos no Brasil: Oportunidades e desafios para seu conhecimento*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

_____. *A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae)*. Bamboo Science & Culture, 7-18, n. 18, 2004.

FRANCO, Luiz Sérgio. *Coordenação modular*. Aula 09, 2007. Disponível em: <http://pcc2515.pcc.usp.br>. Acesso em out., 2007

FREITAS, Antônio Carlos Lima Pedreira de. *Tangram: Pré-fabricados para obras convencionais*. Encarte Técnico ABCI/PINI, Construção Industrializada (16). Construção Minas Centro/Oeste, n. 171, jan., 1991.

GHAVAMI, Khosrow. *Estruturas de concreto armadas com bambu*. CECAB – Colóquio sobre estrutura de concreto armado e protendido. Departamento de Engenharia Civil. Vol. 1, p. 149-173, PUC-Rio. Rio de Janeiro, 1990.

_____. *Development of structural elements using bamboo*. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Equador, 2001.

_____. *Bambu: Madeira ecológica para habitações de baixo custo*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, p. 111-123, 2006.

GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, Albanise. B. *Propriedades geométricas e mecânicas de colmos dos bambus para aplicação em construções*. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, vol.23, n.3, p.415-424, set./dez. 2003.

GHAVAMI, Khosrow; RODRIGUES, Conrado de Souza. *Engineering materials and componentes with plants*. In: CIB - Symposium on Construction and Environment: theory into practice. São Paulo: Global Seven, p. 1-16, 2000.

GHAVAMI, Khosrow; RODRIGUES, Conrado de Souza; PACIORNIK Sidnei. *Bamboo: Functionally graded composite material*. Asian Journal of Civil Engineering, Irã, vol. 4, n. 1, p. 1-10, 2003.

GONÇALVES, Ana Paula Santos; OKANO, Rita Maria de Carvalho; VIEIRA, Milene Faria; FILGUEIRAS, Tarciso S. *Bambus (Bambusoideae: Poaceae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais: Florística e Morfologia*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

GONÇALVES, Marcos Tadeu Tibúrcio, PEREIRA, Marco Antônio dos Reis; GONÇALVES, C.D. *Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu*. In: XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea. Anais, Fortaleza, 2000.

GRAÇA, Vera Lúcia. *Bambu: Técnicas para o cultivo e suas aplicações*. 2 ed. São Paulo: Ícone, 1988.

HABITARE. *Habitação Sustentável*. Disponível em: <http://www.habitare.infohab.org.br> Acesso em maio, 2005.

INBAR, International Network Bamboo and Rattan. *INBAR in China and the world*. n. 7. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004.

ITAPAJÉ S.A. *A fábrica*. Disponível em: www.itapaje.com. Acesso em: set. de 2007.

IWAKIRI, Setsuo (ed.). *Painéis de madeira reconstituída*. Curitiba: FUPEF, 2005.

JANSSEN, J. A. Jules. *Building with bamboo*. London: Intermediate Technology Publications, 1995.

JUDZIEWICZ, Emmet J.; CLARK, Lynn G.; LONDOÑO, Ximena; STERN, Margaret J. *American bamboos*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press, 1999.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. *Manual de diseño para maderas del grupo Andino*. Peru, Lima, 1982.

KLEIN, Alex Maltese; CHALUPPE, André Gustavo Costa; FETTERMANN, Diego de Castro; CARON, Felipe. *Panorama da construção civil com bambu no Rio Grande do Sul a partir de um comparativo dos custos de construção de bambu e Madeira*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

LANGAIS, Géry. *Maisons de bambou*. Paris: Éditions Hazan, 2002.

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

LENGEN, Johan van. *Manual do arquiteto descalço*. 4 ed. Rio de Janeiro: Livraria do Arquiteto, 2004.

LESSARD, Gilles (ed.); CHOUINARD, Amy (ed.). *Bamboo research in Asia: proceedings of a workshop held in Singapore*. Ottawa, Japan: International Development Research Centre, 1980

LIESE, Walter. *Anatomy and properties of bamboo*. In: Recent Research on Bamboos. Chinese Academy of Forestry, China and International Development Research Centre, Canada. p. 196-208, 1987.

_____. *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. China: International Network for Bamboo and Rattan, 1998.

_____. *Bambus aktuell*. In: *Bambus-Journal* (European Bamboo Society, Germany), 2006. Disponível em www.bambus-deutschland.de. Acesso em: ago. de 2007

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

LONDOÑO, Ximena. *Bambúes exóticos en Colômbia*. Colômbia: Sociedad Colombiana del Bambu, 2004.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. *Bamboo the gift of the gods*. 1 ed. Bogotá, Colômbia: D'VINNI LTDA, 2003.

_____. *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. *Estudios Técnicos Colombianos*. CIBAN. Bogotá, 1978.

MCCLURE, Floyd Alonzo. *The bamboos: a fresh perspective*. Cambridge: Havard University Press, 1966.

MEADOWS, Dennis L.; MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; BEHRENS, Willian W. *Limites do crescimento - um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo: Perspectiva, 1972.

MELO, Júlio Eustáquio de. *Madeira laminada colada*. Apostila, 2005.

_____. *Sistemas estruturais em madeira*. Apostila do curso de Curso de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. *Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo*. Dissertação de mestrado em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2007.

NAÇÕES UNIDAS. *The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction*. Department of Economic and Social Affairs. New York: United Nations, 1972.

NAHUZ, Márcio Augusto R. *PMVA*. Revista da Madeira, São Paulo, ano 12, n. 68, dez. 2002. Disponível em <http://www.remade.com.br/revista/materia>. Acesso em 29 nov. 2006.

NELSON, Bruce Walker; OLIVEIRA, Átila Cristina de; VIDALENC, Daniela; SMITH, Maira; NOGUEIRA, Euler Melo. *Florestas dominadas por tabocas semi-escandentes do gênero Guadua, no sudoeste da Amazônia*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

OLIVEIRA, Rejane P. de; LONGHI-WAGNER, Hilda M; JARDIM, Jomar G. *Diversidade e conservação dos bambus herbáceos (Poaceae: Bambusoideae: Olyrae) da Mata Atlântica*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

OTTO, Frei. In: DUNKELBERG, Klaus. *IL31 Bamboo: Bamboo as a building material*. Institute of Lightweight Structures: Stuggart, 4 ed., 1985.

PEREIRA, Agnes Cristina Winter. *Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação*. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Construção Civil do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. 2005

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. *Bambu: Espécies, características e aplicações*. Apostila. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de São Paulo. Bauru, 2001.

_____. *Projeto Bambu: Manejo e produção do bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) cultivado na UNESP de Bauru/SP e determinação de características mecânicas de ripas laminada*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

PEREIRA, Marco Antonio dos Reis; BERALDO, Antonio Ludovico. *Bambu de Corpo e Alma*. Bauru, São Paulo: Canal6, 2007.

_____. *Bambu de Corpo e Alma. CD-ROM contendo imagens*. Bauru, São Paulo: Canal6, 2007.

PIANCA, João Baptista; PIANCA, Paulo; BLESSMANN, Joaquim; SAN MARTIN, Francisco José. *Manual do engenheiro Globo*. V. 7, tomo 1º, 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1977.

PUGA, Cláudio Creazzo. *Tecnologia de ponta em engenharia estrutural: Produção em usina de edifícios pré-fabricados de múltiplos andares em concreto armado protendido*. Encarte Técnico ABCI/PINI, Construção Industrializada (007). Construção Minas Centro/Oeste, n. 162, abril, 1990.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. *A concepção estrutural e a arquitetura*. 3 ed. São Paulo: Ziguarte Editora, 2003.

_____. *Bases para projeto estrutural na arquitetura*. São Paulo: Ziguarte Editora, 2007.

RIVERO, Lourdes Abbade. *Laminado colado e contraplacado de bambu*. Dissertação de Mestrado em Construções, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003

ROASIO, Jorge Campos; WAGENKNECHT, Ruben Peñaloza; GONZÁLEZ, Carlos Kahler; WILSON, Hernán Poblete; PERRAMON, Jorge Cabrera. *Bambu em Chile*. Santiago: INTEC, 2003.

ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*. 1 ed., São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1980

SALGADO, Antonio Luiz de Barros. *Bambu no Brasil uma matéria-prima celulósica e energética*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

SALGADO, Antonio Luiz de Barros; GODOY Jr., Gentil. *O bambu em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização*. In: Seminário Internacional: O uso do bambu na construção civil. Alagoas, 2002.

SALGADO, Antonio Luiz de Barros; CIARAMELLO, Dirceu; AZZINI, Anísio. *Bambu como reforço estrutural em moirões de cerca*. O Agrônomo. Campinas, vol. 38 (2), 1986.

SANTOS, João Antônio dos. *É fácil cultivar bambu*. Manuais Práticos Vida: Um guia de auto-suficiência. São Paulo: Editora Três, 1986.

SARTORI, Edson de Mello. *O bambu como insumo no processo industrial de pré-moldados para construção civil*. In: Seminário Nacional para Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – REDEBAMBU. Anais. Brasília, 2006.

SARTORI, Edson de Mello; CARDOSO Jr., Rubens. *Estudo da utilização do bambu em estruturas de concreto armado e na construção civil*. Ensaios e Ciência. Campo Grande: Uniderp, vol. 02, n. 01, 1998.

SASTRY, Cherla. B. *Timber for the 21st Century*". Disponível em: www.inbar.org. Acesso em: nov, 2006.

SERAPHIM, José Henrique. *Arquitetura preocupada com ecologia*. Disponível em: <http://www.universia.com.br>. Acesso em: março, 2005.

SILVA, Alejandro Luiz Pereira da. *INBAMBU – Inovação em uma tecnologia milenar*. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, [2002?].

SILVA, Daiçon Maciel da; SOUTO, André Kraemer. *Estruturas: uma abordagem arquitetônica*. 2 ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

SILVA, Roberto Magno de Castro e. *Caracterização do Taquaruçu (Guadua sp.) e do seu ambiente de ocorrência na bacia do rio Crixás-açu, Goiás, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.

SILVEIRA, Marcos. *A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: Padrões e processos em múltiplas escalas*. Tese de Doutorado em Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

SJÖSTROM, Christer. *Durability and Sustainable use of Buildings Materials & Components*. In: Llewellyn, J.W; DAVIES, H. Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.

STAMM, Jörg. *Laminados de guadua*. In: Seminário – Taller avances en la investigación sobre Guadua. Pereira, 2002.

TACLA, Zake. *O livro da arte de construir*. São Paulo: Unipress Ed, 1984.

TEIXEIRA, Anelizabeth Alvez. *Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

VARELLA FILHO, Euclides. *A leveza e a versatilidade do concreto celular*. Encarte Técnico ABCI/PINI, Construção Industrializada (28). Construção Norte/Nordeste, n. 223, dez., 1991.

VASCONCELLOS, Raphael Moras. *Consultoria de design e artesanato para o Instituto do Bambu: Relatório de atividades*. 2003. Disponível em: <http://www.bambubrasileiro.com/arquivos>. Acesso em nov. 2006.

_____. *Ecodesign News*. Brasília, n.10, ano 2, abr. 2004. Disponível em: www.gestaoct.org.br. Acesso em maio, 2008.

VILLEGAS, Marcelo. *Tropical bamboo: Bambusa Guadua*. 3. ed. Bogotá, Colômbia: Villegas Editores, 2001.

BIBLIOGRAFIA

ADAM, Roberto Sabatella. *Princípios do ecoedifício. Interação entre ecologia, consciência e indivíduo*. São Paulo: Aquariana, 2001.

ALMEIDA, Jaime Gonçalves de. *Caracterização geométrica de bambus para construção e manufatura de objetos: Análise comparativa da Guadua weberbaueri e do Phyllostachys bambusoides*. Brasil Florestal, Brasília, ano XXIII, n. 80, p.51-65, ago. 2004.

AZZINI, Anísio; BORGES, José Maximiliano Matto Grosso; CIARAMELLO, Dirceu; SALGADO, Antonio Luiz De Barros. *Avaliação quantitativa da massa fibrosa e vazios em colmos de bambu*. Bragantia, Campinas, vol. 49 (1), p. 141-146, 1990.

AZZINI, Anísio; CIARAMELLO, Dirceu; NAGAI, Violeta. *Propagação vegetativa do bambu-gigante*. Bragantia, vol. 37, n.16, jan., 1978.

AZZINI, Anísio; SANTOS, Rogério Leite dos; PETTINELLI JUNIOR, Armando. *Bambu: Material alternativo para construções rurais*. Boletim Técnico. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, Campinas, n.171, dez., 1997.

BARRETO, Walter. *La guadua en el laminado pegado estructural: Evaluación de guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano*. Universidad Nacional de Bogotá. Bogotá, 2003.

CORREA, Carlos Fábio Fernandes. *Caracterização tecnológica do bambu e desenvolvimento de módulo estrutural: Caracterização tecnológica de bambu do gênero Phyllostachys*. Relatório de pesquisa. Laboratório de Engenharia do IBAMA/LPF. Brasília, jul., 2004.

DAM – Fundação Centro de Desenvolvimento das Aplicações de Madeiras no Brasil. *Taipa em painéis modulado: Sistemas construtivos 3*. 2 ed. Brasília: MEC/CEDATE, 1988.

FARRELY, D. *The book of bamboo*. V.2. São Francisco, USA: Sierra Club Books, 1984.

FERRÃO, Andre Munhoz de Argollo; FREIRE, Wesley Jorge. *Resistência à flexão de vigas de concreto armadas com taliscas de bambu*. In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1993, Ilhéus, BA. Anais do XXII CONBEA. Ilhéus, BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 1. p. 168-177, 1993.

_____. *Aderência entre taliscas de bambu e matrizes de concreto: Resistência ao arrancamento*. Engenharia Agrícola, Campinas, SP, v. 13, p. 13-28, 1993.

GHAVAMI, Khosrow. *Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams*. Cement and Composite, n.17, p. 281-288, 1995.

GHAVAMI, Khosrow; MOREIRA, Luis Eustáquio. *Bamboo space structures*. In: International Symposium on Industrial Use of Bamboo, p. 99-109. China, 1992.

HERTZ, John B. *Ecotécnicas em arquitetura: Como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

INBAR, International Network Bamboo and Rattan. *INBAR in China and the world*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003.

JANSSEN, Jules .J.A. *Mechanical properties of bamboo*. Forestry Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, vol.37, 1991.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. *Manual de construccion con bambu*. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Cali: Universidad Nacional de Colombia, 1981.

MARICONI, Francisco de Assis Menezes. *Inseticidas e seu emprego no combate às pragas*. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

MASCARÓ, Juan Luis. *Infra-estrutura habitacional alternativa*. 1.ed. Porto Alegre: Sagra, 1991.

MOREIRA, L. E. *Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu*. Departamento de Engenharia Civil. Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1991.

OHAYON, Pierre; GHAVAMI, Khosrow. *Bamboo and composites reinforced with vegetable fibres R &D projects: Evaluation framework*. In: Proceedings of the NOCMAT/3-Vietnam third international conference on non-conventional materials and technologies, v.1. p. 186-192. Hanoi: Construction Publishing, 2002.

VÉLEZ, Simon. *Grow your own house: Símon Vélez and bamboo architecture*. Rhein/ Alemanha: Vitra Design Museum, 2000.

VILLEGAS, Marcelo. *Bambusa guadua*. Japão: Villegas Editores, 1989.

SALGADO, Antonio Luiz de Barros; CIARAMELLO, Dirceu; AZZINI, Anísio. *Propagação vegetativa do bambu*. O Agrônomo. Campinas, SP. vol. 39 (3), 1987.

STAMM, Jörg. *Propuesta y descripción del montaje de uma fabrica de guadua inmunizada*. Construcción ecológica y asesoría ambiental, (texto não publicado), ago., 2003.

YOUSSEF, M. A. R. *Bamboo as a substitute for steel reinforcement*. In: Structural Long. Part I, Constructions Materials, V.1. New Arizona: H. Y. Fang, Envo Publishing, 1976.

ENDEREÇOS ELETRÔNICOS

www.art.com, Acesso em setembro de 2007.

www.bambubrasileiro.com.br, Acesso em fevereiro de 2008.

www.bambootechnologies.com, Acesso em dezembro de 2006.

www.bambutico.com, Acesso em junho de 2007.

www.conban.de, Acesso em abril de 2007.

www.gebr-schuetz.de/hetzer, Acesso em dezembro de 2007.

www.globorural.globo.com, Acesso em maio de 2007.

www.inbar.int, Acesso em outubro de 2007.

www.industrierealbertani.it, Acesso em janeiro de 2008.

www.rsh-p.com, Acesso em maio de 2008.

www.sebraesp.com.br, Acesso em setembro de 2007