

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

LAMINADO COLADO E CONTRAPLACADO DE BAMBU

LOURDES ABBADE RIVERO

Orientador: Prof. DR. ANTONIO L. BERALDO

CAMPINAS – SP

AGOSTO DE 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R524L Rivero, Lourdes Abbade
Laminado colado e contraplacado de bambu /
Lourdes Abbade Rivero.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Antonio Ludovico Beraldo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bambu. 2. Adesivos. I. Beraldo, Antonio
Ludovico. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

LAMINADO COLADO E CONTRAPLACADO DE BAMBU

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre na área de Construções Rurais e Ambiente.

LOURDES ABBADE RIVERO

Orientador: Prof. DR. ANTONIO L. BERALDO

CAMPINAS – SP

AGOSTO DE 2003

DEDICATÓRIA

A Deus, energia vital e renovadora, a minha família (Tiago, Paulo Vinícius e Luzia (mãe)), em especial ao meu companheiro Pedro, sempre presente e me apoiando em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio L. Beraldo, pela compreensão e profissionalismo, em toda orientação.

Ao Prof. Anísio Azzini do Instituto Agrônomo de Campinas, que sempre será o professor, pelas orientações.

Aos amigos do Laboratório de Materiais, aqueles que sempre se mostraram solícitos à colaboração e amizade (Martha Valenciano, Wilza Gomes, Sandra, Edílson, Ricardo, Eduardo (os cafezinhos), Welington, Regis, a sala dos “L” (Lóris Zucco e Lia Pimentel).

Às técnicas do laboratório e amigas, Gisleiva e Flávia, que estiveram sempre solícitas para as fotos, companhia do almoço e apoio.

Aos Professores Drs. Wesley, Rossi, e Raquel, pelas bibliografias e repasse de seus conhecimentos.

Aos funcionários do Campo Experimental da FEAGRI, em especial ao Jurandi.

Ao Laboratório de Protótipo da FEAGRI/UNICAMP: José Maria (Prof. Pardal), Luiz. e Francisco.

Ao Robinson Orsini, pelas adaptações de desenhos.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais do IPT.

Ao LaMEM, EESC-USP, a todos laboratorista e Prof. Dr. Carlito Calil Júnior.

Ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da FAZEA-USP- Pirassununga, em especial ao Prof. Dr. Holmer Savastano Junior.

A todos aqueles que sempre acreditaram na força e perseverança de alguém que queira crescer.

SUMARIO

	Página
SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Justificativa.....	1
1.2 – Objetivo.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Bambu.....	3
2.1.1 Características biológicas do bambu.....	4
2.1.2 Composição química do bambu.....	6
2.1.3. Cultivo.....	8
2.1.4. Corte.....	8
2.1.5 Tratamento para aumentar a durabilidade do bambu.....	9
2.2. Madeira Laminada Colada (MLC).....	9
2.2.1. Histórico - Madeira Laminada Colada (MLC).....	10
2.2.2 Madeira Laminada Colada (MLC).....	11
2.2.3 Teor de umidade.....	12
2.3 Laminado Colado de Bambu (BLC).....	13
2.4 Adesivos.....	18
2.4.1 Histórico do uso de adesivos.....	18
2.4.2 Adesivos.....	19
2.4.3 Propriedades do adesivo na madeira e no bambu.....	19
2.4.4 Tipos de Adesivos.....	20
2.4.5 Adesivos poliuretanos.....	22
2.4.6 Adesivos à base de resina resorcinol formaldeído e uréia-formaldeído.....	23
2.4.7 Recomendações construtivas para o uso de adesivo.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. Espécies de bambu utilizadas.....	25
3.1.2 Retirada dos colmos.....	26
3.1.3 Processo de preparo para o tratamento.....	26
3.1.4 Tratamento.....	27
3.1.5 Secagem.....	28
3.1.6 Processo de usinagem das taliscas.....	28
3.1.7 Dispositivo para aparelhamento das taliscas.....	29
3.2 Adesivos.....	30
3.2.1 Características dos adesivos.....	30
3.2.2 Preparo dos adesivos.....	31
3.3 Bambu laminado e colado (BLC).....	32
3.3.1 Dispositivo para a prensagem.....	32
3.3.2. Prensagem.....	33
3.4. Contraplacado de bambu.....	33

3.5	Procedimentos para a confecção do BLC e Contraplacado de bambu CPB).....	34
3.6	Ensaio realizado.....	35
3.6.1	Ensaio não destrutivo (END).....	35
3.6.2	Estabilidade dimensional.....	37
3.6.3	Ensaio de cisalhamento na superfície colada para o BLC e para o Contraplacado.....	38
3.6.4	Ensaio de cisalhamento no bambu (BLC).....	40
3.6.5	Ensaio de flexão estática.....	41
3.6.6	Ensaio de compressão simples.....	42
3.6.7	Ensaio de flexão dinâmica ao choque.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Ensaio não destrutivo (END) para o BLC.....	45
4.2	Ensaio não destrutivo aplicado ao Contraplacado de bambu.....	46
4.3	Absorção e variação dimensional do BLC.....	47
4.4	Variação dimensional do Contraplacado de Bambu (CPB).....	51
4.5	Cisalhamento na superfície colada para o BLC.....	53
4.6	Cisalhamento do bambu no BLC.....	55
4.7	Cisalhamento na superfície colada para o Contraplacado.....	56
4.8	Ensaio de flexão estática.....	57
4.8.1	BLC.....	58
4.8	1.2. Análise carga x flecha.....	60
	1.3 Energia específica.....	62
	1.4. MOE.....	63
	1.5 Limite de proporcionalidade.....	64
4.8.2	Flexão estática em Contraplacado de bambu (CPB).....	66
	2.1 Tipos de ruptura para o CPB.....	68
4.9	Ensaio de compressão simples.....	69
	9.1 BLC (Bambu Laminado Colado).....	69
	9.2 Tensão no limite de proporcionalidade.....	71
4.10	Módulo elástico.....	72
4.11	Ensaio de compressão simples para o Contraplacado (CPB).....	73
4.12	Flexão dinâmica ao choque (Impacto).....	74
4.12.1.	Teor de umidade.....	75
4.12.2	Densidade de massa.....	75
4.12.3	Energia absorvida.....	76
4.12.4	Coeficiente de resiliência (k).....	76
4.12.5	Cota dinâmica.....	77
6.	CONCLUSÕES.....	79
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01	Constituintes de um colmo de bambu..... 5
Figura 02	Distribuição anatômica do bambu (<i>B. vulgaris</i> var. <i>vitatta</i> e <i>D. giganteus</i>)..... 5
Figura 03	Exemplos de madeira laminada colada (MLC) (A, B e C)..... 11
Figura 04	Casa de bambu no Japão (A,B e C)..... 14
Figura 05	Laminado produzido na Colômbia..... 15
Figura 06	Modelo de colagem das lâminas para o BLC..... 16
Figura 07	Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão estática..... 16
Figura 08	Tipos de corpos-de-prova para o ensaio de cisalhamento..... 16
Figura 09	Tipos de colagem para ensaio de variação dimensional e corpo-de-prova para dureza..... 17
Figura 10	Touceira de bambu <i>D.giganteus</i> 25
Figura 11	Touceira de bambu <i>B. vulgaris</i> 25
Figura 12	Dispositivo de corte do colmo de bambu (A e B)..... 27
Figura 13	Lâmina de bambu mostrando parte que era eliminada..... 29
Figura 14	Dispositivo para usinagem..... 29
Figura 15	Dispositivo para a prensagem das lâminas..... 32
Figura 16	Dispositivo colocado na prensa..... 33
Figura 17	Disposição das lâminas para o Contraplacado..... 34
Figura 18	Posições do ultra-som no BLC..... 36
Figura 19	Posições do ultra-som no Contraplacado..... 36
Figura 20	Preparação do corpo-de-prova na fresa, etapas 1 e 2 (A e B)..... 39
Figura 21	Blocos colados individualmente e colagem de dois blocos..... 40
Figura 22	Dispositivo para ensaio de Flexão..... 41
Figura 23	Corpo-de-prova na máquina de ensaio, com relógios comparadores..... 42
Figura 24	Máquina de ensaio de impacto e detalhe do pêndulo de Charpy..... 44
Figura 25	Inchamento total do BLC (<i>B. vulgaris</i> , tratamento químico, adesivo Cascophen)..... 48
Figura 26	Retração total do BLC (<i>B. vulgaris</i> , tratamento químico, adesivo Cascophen)..... 49
Figura 27	Inchamento total do BLC (<i>D. giganteus</i> , tratamento químico, adesivo Cascophen)..... 50
Figura 28	Retração total do BLC (<i>D. giganteus</i> , tratamento químico, adesivo Cascophen)..... 50
Figura 29	Inchamento total para o Contraplacado(CPB)..... 52
Figura 30	Retração total para o Contraplacado (CPB)..... 52
Figura 31	Contraplacado (CPB) com adesivo Cascamite, após saturação em água e secagem em estufa..... 53
Figura 32	Médias de tensão de Cisalhamento na superfície colada para o BLC..... 54
Figura 33	Corpo-de-prova <i>D. giganteus</i> , tratamento água com adesivo

	Cascamite.....	55
Figura 34	Corpo-de-prova <i>B. vulgaris</i> , tratamento químico com adesivo Cascophen.....	55
Figura 35	Resultados de tensão de cisalhamento no <i>D. giganteus</i>	56
Figura 36	Tensão média de cisalhamento na lâmina de colagem no Contraplacado.....	57
Figura 37	Tensão (MOR dados em MPa) e tipos de bambu.....	58
Figura 38	Corpo-de-prova de maior MOR.....	59
Figura 39	Corpo-de-prova de menor MOR.....	59
Figura 40	Carga X flecha, dos corpos-de-prova, com <i>B. vulgaris</i> , tratamento químico com adesivo Cascamite.....	61
Figura 41	Carga X Flecha, dos corpos-de-prova, com <i>D. giganteus</i> , tratamento em água com adesivo Cascamite.....	61
Figura 42	Carga X Flecha dos corpos-de-prova do <i>B. vulgaris</i> , tratamento em água com adesivo Cascamite.....	62
Figura 43	Tensão versus deformação específica.....	62
Figura 44	MOE (MPa) x tipo de bambu e adesivo.....	63
Figura 45	Limite de Proporcionalidade, para tipo de bambu e adesivo.....	66
Figura 46	MOR em função do adesivo utilizado.....	67
Figura 47	MOE do contraplacado.....	67
Figura 48	Limite de Proporcionalidade em função do adesivo utilizado.....	68
Figura 49	Contraplacado <i>B. giganteus</i> com adesivo Cascamite.....	69
Figura 50	Contraplacado <i>B. giganteus</i> com adesivo Cascophen.....	69
Figura 51	Curva Tensão x Deformação específica.....	71
Figura 52	Corpo-de-prova, vista lateral e vista de topo (A e B).....	73
Figura 53	Tensão do CPB para a utilização dos adesivos	74
Figura 54	Coefficiente de resiliência x adesivo.....	76
Figura 55	Cota dinâmica x adesivo.....	77

LISTA DE TABELAS

	Página	
Tabela 01	Percentagem em volume dos nós, entrenós e vazios em colmos de três espécies de bambu.....	6
Tabela 02	Composição química do bambu.....	7
Tabela 03	Distribuição dos elementos de duas espécies de bambu.....	7
Tabela 04	Resultados de ensaios de resistência mecânica.....	17
Tabela 05	Tipos de adesivos, usos e condições.....	18
Tabela 06	Características do adesivo Cascophen.....	30
Tabela 07	Características do adesivo Cascamite.....	31
Tabela 08	Médias de velocidade de propagação de onda ultra-sônica (em km/s) para cada grupo de três corpos-de-prova.....	45
Tabela 09	Médias de velocidade de propagação de onda ultra-sônica (em km/s) no Contraplacado.....	47
Tabela 10	Inchamento para o Contraplacado, espécie <i>D. giganteus</i> , tratamento químico, com adesivo Cascamite. Absorção (%) em massa.....	51
Tabela 11	Nomenclatura tipo de bambu, tratamento e adesivo utilizado.....	53
Tabela 12	Comparação do MOR para laminado colado sem emenda e taliscas de bambu.....	60
Tabela 13	Comparação de MOE (MPa) para colmo de bambu, taliscas e BLC.....	64
Tabela 14	Comparação entre o Limite de Proporcionalidade (MPa).....	65
Tabela 15	Valores obtidos para os materiais: Taliscas, BLC e Contraplacado de bambu.....	69
Tabela 16	Resultados de Compressão simples para o BLC.....	70
Tabela 17	Resultados de Tensão no Limite de Proporcionalidade e Módulo de elasticidade para o BLC.....	72
Tabela 18	Tensão e densidade média do Contraplacado com bambu <i>D. giganteus</i> , adesivos Cascamite e Cascophen.....	74
Tabela 19	Valores obtidos no ensaio de Flexão dinâmica ao choque.....	75

RESUMO

Estudos sobre madeira laminada colada encontram-se bastante desenvolvidos, pois desde 1934, quando surgiu nos EUA, tal material vem sendo fabricado em vários países. Da mesma forma, países asiáticos já produzem pisos de laminado colado de bambu (BLC) desde a década de 80. No Brasil ocorrem espécies de bambu aparentemente adequadas para esta finalidade como, por exemplo, o *Dendrocalamus giganteus* e o *Bambusa vulgaris*, encontrados com facilidade em várias regiões. A primeira delas possui colmos com paredes espessas e distância entre os nós (ou internós) com intervalos que variam de 30 cm a 50 cm, facilitando o processo de corte para a colagem e para a produção do laminado colado; uma das grandes vantagens da segunda espécie é a facilidade de seu plantio. A utilização do bambu no meio construtivo no Brasil é muito recente. As pesquisas realizadas com esse material estão avançando, mas ainda não existem ferramentas ideais para manuseio do bambu, bem como não se conhece o melhor tratamento para evitar o ataque do caruncho. Neste trabalho abordou-se desde a escolha do tipo de tratamento, tipo de corte ideal, até a forma de colagem de lâminas de bambu. Foram testadas as espécies de bambu gigante (*D. giganteus*) e bambu verde (*B. vulgaris*) para a confecção de laminado colado e contraplacado, bem como foram avaliados dois tipos de adesivos à base de uréia-formol e à base de resorcinol-formol. Ensaio não destrutivo por ultra-som e ensaios destrutivos (flexão estática, compressão simples, cisalhamento na lâmina de colagem) foram efetuados, tanto para o BLC como para o Contraplacado. Testes de impacto e de cisalhamento do bambu foram efetuados somente para o BLC.

O bambu laminado colado, confeccionado com o adesivo à base de resorcinol-formol, mostrou resistência adequada podendo ser indicado para a fabricação de cabos de ferramentas. O Contraplacado, por sua vez, confeccionado com adesivo à base de uréia-formol, pode servir para a confecção de mesas, assentos e encostos de cadeira.

PALAVRAS – CHAVE: laminado colado, contraplacado, bambu, adesivos

ABSTRACT

Studies on glued-laminated wood are well developed because since 1934, when it appeared in the USA, such material has been manufactured in several countries. In the same way, Asian countries have already manufactured floors of glue-laminated bamboo (GLB) since 1980's. In Brazil there are bamboo species apparently appropriate to this purpose, for example, *Dendrocalamus giganteus* and *Bambusa vulgaris*, easily found in several regions. The first one has stalks with thick walls and distance between the knots (or inter-knots) with intervals that vary from 30 cm to 50 cm, making easy the process of cutting to gluing and the manufacture of the glued-laminate; one of the greatest advantage of the second species is the fact of being quite easy to be planted. The bamboo use in the building sector in Brazil is very recent. The researches carried out with this material have been advancing but yet there aren't ideal tools to bamboo handling, and neither it is known the best treatment to prevent the attack of borers. In this work it was approached from the choice of the treatment type, ideal cut type, to the way of gluing the bamboo strips. It was tested the species of giant bamboo (*D. giganteus*) and green bamboo (*B.vulgaris*) to the manufacture of glued and plywood laminate, and it was also evaluated two types of adhesives based on urea-formaldehyde and resorcinol-formaldehyde. Non-destructive by ultrasound tests and destructive (static bending, strength compression, shearing in the gluing line) have been done both to the GLB and the Plywood. Tests of impact and shearing of the bamboo have been carried out only to GLB.

The glued-laminated bamboo, manufactured with adhesive based on resorcinol-formaldehyde, show adequate resistance being possible to be indicated to the manufacture of tool handles. The Plywood, on its turn, manufactured with adhesive based on urea-formaldehyde, can be used to manufacture tables, seats and backs of chairs.

KEYWORDS: Glued-laminate, plywood, bamboo, adhesives.

INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, vem incentivando novas pesquisas com materiais alternativos, visando a preservação da natureza e à melhoria da qualidade de vida do homem. As boas características físicas do bambu, bem como sua forma geométrica peculiar, seu baixo custo e facilidade para a sua obtenção, o tornam largamente utilizado como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia.

O bambu, no entanto, apresenta várias limitações para seu emprego em construções devido à sua geometria particular, pois os colmos se assemelham a longos troncos de cone, de pequena espessura (variável ao longo da altura do colmo) e com muitos nós, os quais representam pontos de menor resistência.

No Brasil, existem diversos trabalhos e publicações a respeito de Madeira Laminada Colada (MLC), que são lâminas de madeira ligadas por meio de um adesivo, formando, assim, vigas de madeira laminada colada. A eficiência desse material foi comprovada por meio de ensaios de caracterização físico-mecânica. Mas, a respeito do Bambu Laminado Colado (BLC) e contraplacado de bambu, no Brasil ainda não foram desenvolvidos muitos trabalhos que incentivem a produção, restando a importação dessa tecnologia e desse material do continente asiático.

OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo pesquisar a metodologia para o corte e para a colagem de lâminas de bambu, bem como determinar as características físico-mecânicas do contraplacado e do Bambu Laminado Colado (BLC). Essas características foram avaliadas a partir de ensaios de cisalhamento da ligação adesiva bambu-bambu, ensaios de compressão simples e de flexão estática e ensaios não destrutivos por meio de ultra-som e variação dimensional, para os dois materiais. Para o BLC foram também realizados ensaios de impacto e de cisalhamento no bambu. Com os resultados obtidos espera-se conseguir a fabricação do laminado colado e contraplacado de bambu, incentivando o pequeno agricultor ao plantio e, acima de tudo, propondo o uso de um material ecológico que irá economizar o abate de centenas de árvores. Diversas aplicações voltadas para o setor da construção civil, principalmente para a área de mobiliário, poderiam ser realizadas a partir dessa combinação de bambu com resinas orgânicas.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Bambu

O bambu é um material heterogêneo e ortotrópico, apresentando, assim, coeficientes elásticos que variam conforme a direção de solicitação considerada (CARRASCO et al.,1995). Fatores tais como a espécie utilizada, o teor de umidade dos colmos, condições edafoclimáticas, a idade dos colmos e a época de seu corte afetam a resistência mecânica do bambu.

A China desde a antigüidade é reconhecida pela tradição na utilização do bambu, chegando, nesse país, a ser estimado em cerca de 4000 diferentes usos para esse material, abrangendo desde um simples utensílio até uma complexa construção de residência ou templo (HSIUNG, 1988).

Segundo LIESE (1980), o bambu é uma gramínea cujo tecido resistente é um compósito natural lignocelulósico de baixo peso, porém, de alta resistência mecânica, de fácil manuseio, rápido crescimento, sendo algumas espécies de fácil disponibilidade e obtenção. O bambu com apenas 3 anos já pode ser usado como elemento estrutural.

Conforme AZZINI e BERALDO (2001), as espécies de bambu nativas do Brasil são conhecidas geralmente como: taquara, taboca, jativoca, taquaruçú ou taboca-açú, conforme a região de ocorrência. As espécies de bambu mais difundidas no Brasil são: *Bambusa tuldoides*, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus*, e algumas espécies pertencentes ao gênero *Phyllostachys* (AZZINI et al., 1978).

De acordo com LEE et al. (1968), os bambus pertencem à família *Graminaea* e sub-família *Bambusoidea*, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusacea*, com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1.000 espécies espalhadas pelo mundo. Conforme NOMURA et al. (1986), as espécies de bambu nativas do Brasil pertencem aos gêneros *Arundinaria* (17 espécies), *Chusquea* (22 espécies), *Merostachys* (16 espécies), *Guadua* (17 espécies), *Aanthrostylidiun* (3 espécies), *Streptogyne*, *Glaziophyton*, *Nastus e*

Streptochaeta. Em nosso país tais gêneros de bambu vivem em associação com a floresta nativa, em condições ecológicas específicas.

Para uma melhor maximização da utilização do bambu, torna-se necessário um conhecimento adequado de suas propriedades físicas e mecânicas. Estudos demonstraram que essas propriedades muitas vezes dependem das espécies, das condições climáticas, silvicultura, estação de colheita, idade de corte, teor de umidade, posição da amostra com relação à altura do colmo, presença ou ausência de nós nos corpos-de-prova, e condição fitossanitária (LEE et al., 1994).

BERALDO (1987) afirmou, em estudos realizados sobre as características físico-mecânicas de algumas espécies de bambu, que o principal obstáculo a ser vencido refere-se à inexistência de normas para ensaio. Em trabalhos realizados, o mesmo autor, baseando-se em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para madeira, concluiu que as diferenças anatômicas entre tais materiais são muito distintas, não sendo possível obter determinadas proporções entre os elementos constituintes do bambu, fazendo-se necessário a criação de normas específicas para este material.

2.1.1 - Características biológicas e morfológicas do bambu

De acordo com AZZINI et al. (1997), os colmos de bambu são constituídos por nós, entrenós e vazios no interior dos entrenós. A composição estrutural fornece aos colmos de bambu uma elevada resistência físico-mecânica, leveza e flexibilidade. De acordo com o diâmetro dos colmos e com a espécie considerada, variam as quantidades de nós, entrenós e vazios. Nos nós surgem os ramos, e a cavidade dos entrenós (colmos), formada pelos nós, são isoladas pelo diafragma transversal, como mostra esquematicamente a figura 01.

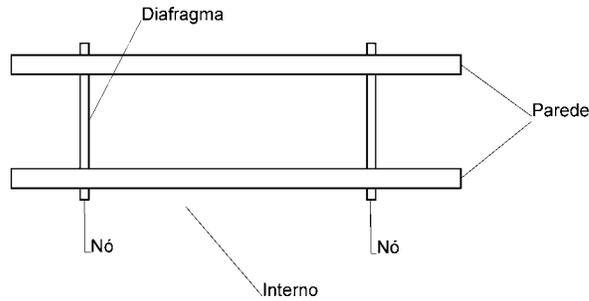


Figura 01 – Constituintes de um colmo de bambu

Fonte: BERALDO (1999)

Do ponto de vista anatômico, segundo LIESE (1980), as diversas espécies de bambu, de um modo geral, apresentam seções transversais constituídas por fibras (40%), células parenquimatosas (50%) e vasos (10%). De acordo com GHAVAMI e SOLORZANO (1995), os bambus são constituídos predominantemente por fibras, responsáveis pela sua resistência; sendo que sua distribuição varia de 40% a 90% na parede externa e de 15% a 30% na parte interna dos colmos.

Nas camadas externas dos colmos ocorre maior concentração das fibras. O transporte da água se processa através dos vasos, enquanto que a resistência mecânica é função primordial das fibras. Na figura 02 pode-se observar a distribuição dos elementos anatômicos de duas espécies de bambu. As regiões mais escuras representam os feixes de fibra; as mais claras representam as células parenquimatosas. Essa distribuição entre os elementos anatômicos do bambu também é variável ao longo da altura do colmo.

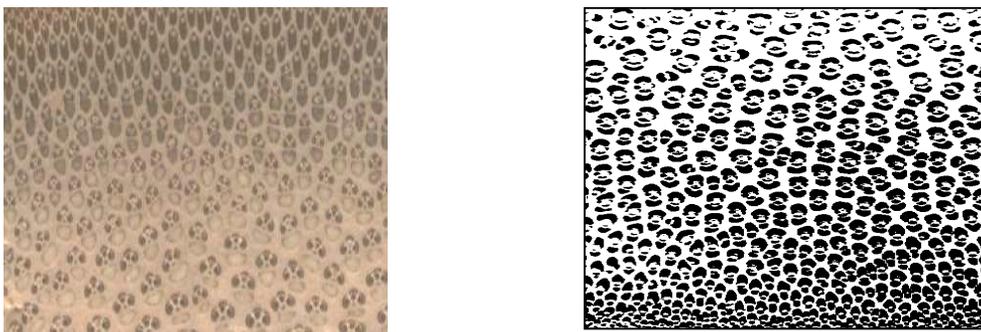


Figura 02 - Distribuição anatômica do bambu (*B. vulgaris* var. *vittata* e *D. giganteus*)

Fonte: BERALDO (1999)

CIARAMELO e AZZINI (1971), em pesquisa realizada com a espécie *D. giganteus*, para produção de pasta para papel, apresentaram dados médios das dimensões dos colmos, de 16 m de comprimento, diâmetro de 0,14 m e massa seca de 40,73 kg. Os colmos apresentaram, em média, 47 nós e 0,35 m de comprimento dos internós (variável ao longo da altura do colmo).

Conforme dados obtidos por AZZINI et al. (1990), a espécie *B. tuldoides*, que apresenta colmos com dimensões mais reduzidas, possui maior quantidade de massa fibrosa, se comparada com os colmos de *B. vulgaris*, (porte médio) e *D. giganteus* (porte elevado). Na tabela 01 indicam-se os componentes dos colmos dessas três espécies de bambus (média de doze colmos).

Tabela 01. Percentagem em volume dos nós, entrenós e vazios em colmos de três espécies de bambu

Espécie	Nó	Entrenó	Nó/Entrenó	Vazio
<i>Bambusa tuldoides</i>	5,91b*	55,28a	61,99a	38,81a
<i>Bambusa vulgaris</i>	12,01a	41,31b*	53,32b*	46,68b*
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	10,70a	35,59c	46,09c	53,91c
DMS (Tukey a 5%)	2,18	5,55	5,54	5,56
C.V. (%)	22,84	11,90	10,31	11,31

Fonte: AZZINI et al. (1990)

* - Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

2.1.2 - Composição química do bambu

Os colmos de bambu constituem-se de feixes fibro-vasculares circundados por um tecido parenquimatoso rico em amido. Os feixes que dão resistência aos colmos concentram-se na parte externa desses colmos, fazendo um contraste com o tecido parenquimatoso

predominante na parte interna. Conforme AZZINI et al. (1977), o número de feixes fibrovasculares por unidade de área varia de acordo com a espécie e com a posição desses feixes ao longo do comprimento dos colmos.

A presença do amido torna-se a principal característica dos colmos do bambu. Segundo AZZINI e GONDIM-TOMAZ (1996), além do amido existem outros componentes dosados como holocelulose (~65%) e lignina (~18%). A tabela 02 mostra a composição química do bambu.

Tabela 02: Composição química do bambu

Componente	% em massa
Carbono	50,00
Hidrogênio	6,10
Oxigênio	43,00
Nitrogênio	0,04 - 0,26
Cinzas	0,20 - 0,60

Fonte: BARBOSA (1999)

A distribuição dos elementos anatômicos das espécies de bambu *Phyllostachys viridis* e *Dendrocalamus giganteus*, nas camadas internas, intermediárias e externas do colmo, é apresentada na tabela 03 (BERALDO e ZOULALIAN, 1995).

Tabela 03. Distribuição dos elementos anatômicos de duas espécies de bambu

Camadas do colmo	<i>Dendrocalamus giganteus</i>			<i>Phyllostachys viridis</i>		
	Vasos	Fibras	Parênquima	Vasos	Fibras	Parênquima
	%	%	%	%	%	%
Interna	11	16	73	13	24	63
Intermediária	9	32	59	13	37	50
Externa	8	55	37	10	63	27

Fonte: BERALDO e ZOULALIAN (1995)

2.1.3 - Cultivo

Os bambus se desenvolvem melhor em zonas de alta umidade relativa, crescendo em temperaturas que variam de 8,8 °C até 36 °C, sendo que no Japão existem espécies que sobrevivem a temperaturas inferiores a -10 °C. A média diária de crescimento longitudinal é de 25 cm/dia, dependendo da espécie analisada.

Existem dois tipos de bambus quanto à forma de crescimento: entouceirantes ou alastrantes. Os primeiros caracterizam-se por apresentar rizomas curtos e grossos com gemas laterais que se desenvolvem em novos rizomas e colmos (principais gêneros: *Bambusa*, *Guadua*, *Dendrocalamus*). Os alastrantes caracterizam-se pela enorme quantidade de rizomas que se desenvolvem no solo (principais gêneros: *Phyllostachys*, *Arundinaria*, *Sasa*).

Segundo AZZINI et al. (1990), os colmos com dimensões mais reduzidas como os da espécie *B. tuldoides*, apresentam maior quantidade de massa fibrosa, comparado com os colmos de *B. vulgaris* e *D. giganteus*. As dimensões dos colmos são bem variadas, atingindo 30 m de altura e 25 cm de diâmetro (*D. giganteus*), até 1 m de altura e 0,5 cm de diâmetro (*Arundinaria densifolia*).

O bambu apresenta um grande potencial agrícola por ser uma planta perene, produzir colmos assexuadamente ano após ano sem ter a necessidade de replantio, por apresentar grande rendimento anual por área e rapidez de crescimento; para cada colmo cortado existe o nascimento de outro, em menos de um ano (AZZINI et al., 1992).

2.1.4 - Corte

Os bambus devem ser cortados no inverno, quando encontram-se com baixa quantidade de seiva elaborada e os insetos estão em hibernação. No Brasil, a melhor época para o corte do bambu situa-se entre os meses de maio a agosto.

A idade do corte é um fator importante e depende da destinação de uso e da espécie que irá se utilizar. Para elementos estruturais, deve-se utilizar somente colmos maduros e completamente lignificados. Os bambus das espécies comuns (*B. vulgaris*), fino (*B. tuldoides*) e o imperial (*B. vulgaris* var. *vittata*), devem ser colhidos com idade superior a 3 anos. Para as

espécies bambu gigante (*D. giganteus*) e guadua (*G. angustifolia*), o corte é indicado em torno de 6 anos. Após tomar-se os devidos cuidados durante a colheita, os colmos devem ser submetidos a tratamentos químicos a serem escolhidos pelo usuário (AZZINI e BERALDO, 2001).

2.1.5 - Tratamentos para aumentar a durabilidade do bambu

A durabilidade do bambu está diretamente ligada à forma de tratamento que o colmo receberá e à destinação do uso. A presença de amido é comprovadamente o ponto fraco do bambu, por estar relacionada com o ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*). Em condições naturais, a durabilidade do bambu se limita a 2 anos, tornando-se, portanto, fundamental o processo de tratamento.

Segundo AZZINI e BERALDO (2001), a durabilidade natural de materiais fibrosos (madeira ou bambu) é o intervalo de tempo em que os mesmos permanecem inalterados, sem que tenha sido efetuado nenhum tipo de tratamento preservativo. Os diversos organismos que atacam a madeira e o bambu são denominados xilófagos (*xylo* = madeira; *phago* = que se alimenta de), destacando-se dentre eles bactérias, fungos e insetos.

Para o tratamento do bambu existem métodos tradicionais e químicos. Os tradicionais subdividem-se em: maturação no local da colheita, maturação por imersão, tratamento com fogo e tratamento com fumaça. Os químicos podem ser à base de diversos produtos: oleosos, oleossolúveis, hidrossolúveis, imersão em solução de sais hidrossolúveis e substituição de seiva por sais hidrossolúveis (AZZINI e BERALDO, 2001). Em tais tratamentos os colmos são submersos em um recipiente contendo uma solução composta de dois ou mais dos produtos mais utilizados como preservativos. A dosagem de 1% de sulfato de cobre, 1% de dicromato de sódio mais 1% de ácido bórico, é a mais recomendada pelos autores.

2.2 - Madeira laminada colada (MLC)

2.2.1 - Histórico – Madeira laminada colada (MLC)

Há registros históricos de que no século XIX, precisamente por volta de 1840, o austríaco Michel Thonet já realizava os primeiros ensaios de confecção e utilização da madeira laminada e colada (MLC) para a fabricação de mobiliário. Sua técnica consistia na utilização de pequenas ripas de madeira cortadas e coladas umas às outras com o auxílio de cola de origem animal, até obter a espessura desejada; geralmente ele as utilizava de forma curva, efeito este conseguido por meio da ação do calor, em função do design específico do móvel.

Segundo SOBRAL FILHO (1982), a introdução às técnicas do laminado colado começou no século XIX, mas não atingiu o potencial desejado até que adesivos duráveis fossem produzidos durante a Segunda Guerra Mundial.

No caso de eventuais envergaduras e presença de outros defeitos na madeira, tais imperfeições podem ser distribuídas ao longo da peça, de tal forma que a resistência do conjunto pode vir a se tornar maior do que a da soma das suas partes.

Um dos primeiros exemplos do uso de MLC nos EUA ocorreu em 1934, na construção de um edifício para o Forest Products Laboratory (FPL) em Madison, Wisconsin. A estrutura era composta por arcos triarticulados com vão de 14 m. Segundo FREAS e SELBO (1954), vários testes de unidades estruturais foram realizados para verificar alguns fatores como fórmulas de projeto, tensões atuantes na estrutura, etc. Os resultados dessa pesquisa foram apresentados no United States Department of Agriculture Technical Bulletin 691, The Laminated Wooden Arch. O uso da MLC permite a obtenção de seções estruturais econômicas nas dimensões desejadas e seu uso está se expandindo devido às suas facilidades e vantagens, quando confrontada com a madeira em sua forma natural.

No século XX, a MLC passou a ser objeto de pesquisa de vários estudiosos no mundo, sendo esse material atualmente muito empregado no ramo da construção civil, conforme alguns exemplos apresentados na figura 03.



(A)



(B)



(C)

Figura 03- Exemplos de aplicação da madeira laminada colada (MLC)

Fonte: ENSTIB - França

2.2.2- Madeira laminada colada (MLC)

A madeira é um material ideal para fabricação dos elementos construtivos, tanto *in loco* quanto em fábrica. A madeira é leve e fácil de ser acabada. O transporte dos componentes é simplificado e, uma vez no local da obra, não há outro material que seja mais fácil de ser cortado e ligado.

A madeira laminada colada (MLC) pode ser definida como sendo um elemento composto de pequenas peças de madeira, inferiores em tamanho ao lenho original, unidas por meio de cola em toda a sua extensão, posicionando-se as fibras das lâminas aproximadamente paralelas ao comprimento da peça. O elemento estrutural pode ser reto ou curvo, com seção transversal variada, permitindo uma infinidade de opções em projeto. Para a madeira laminada colada a espessura das lâminas varia de 10 mm a 50 mm (CARRASCO, 1984).

Entre as inúmeras vantagens apresentadas pela MLC destacam-se as seguintes:

- estruturas de MLC podem ser fabricadas com qualquer seção, forma e comprimento, tendo como limitação apenas o transporte das peças;

- a espessura das tábuas permite secagem mais regular, com melhor controle da umidade desejada;
- a seção transversal das peças pode variar de acordo com as tensões solicitantes na seção, evitando gastos excessivos de material;
- o método de fabricação permite o uso de lâminas de qualidade inferior nas zonas de baixa solicitação, minimizando o custo, e o uso de lâminas de qualidade superior nas zonas de maior solicitação, podendo ser possível a combinação de duas espécies de madeiras distintas;
- apresenta um efeito estético excelente, não sendo necessário ocultar a estrutura, como no caso de outros materiais;
- com grandes dimensões na seção transversal, apresenta maior resistência ao fogo do que estruturas de aço projetadas para suportar a mesma carga, pois as estruturas de MLC se queimam mais lentamente e resistem à penetração do calor. O aço submetido à ação do fogo entra em colapso rapidamente, enquanto que o avanço da combustão na MLC é muito lento, em torno de 0,6 mm/min;
- os elementos laminados têm uma baixa razão peso/resistência, podendo ser facilmente instalados;
- apresenta baixa condutibilidade térmica, sendo considerados um dos melhores isolantes dentre os materiais.

2.2.3 - Teor de Umidade

Tanto a madeira quanto o bambu contêm quantidades variáveis de água; logo depois do abate, a porcentagem de água é bastante elevada. Em alguns casos essa água ou umidade apresenta-se em tão grande porcentagem que pode exceder o próprio peso da madeira ou do bambu. A umidade tende sempre a diminuir até um certo limite, quando se estabelece o equilíbrio entre aquela existente na madeira e o grau higrométrico do meio ambiente. Essa perda de água é denominada secagem. Além da perda de umidade, a secagem proporciona a fixação e a transformação de substâncias orgânicas e inorgânicas existentes na madeira e, aparentemente, até uma oxidação.

A secagem apresenta as seguintes vantagens:

- a) Evita o ataque de insetos e fungos;
- b) Aumenta a durabilidade em serviço;
- c) Evita contrações e fendas;
- d) Aumenta a resistência mecânica;
- e) Diminui a massa do material a ser transportado;
- f) Prepara a madeira para tratamentos preservativos e outros usos industriais.

A secagem artificial da madeira e do bambu aumenta sua durabilidade, em relação aos materiais não tratados. O bambu, perdendo a umidade quando verde, não só se contrai como também se deforma e fendilha, dando fácil acesso ao ataque de fungos e insetos. Porém, tal fato não acontece com a madeira secada artificialmente, a não ser em casos excepcionais. Pela secagem natural ou artificial, a água de embebição é a primeira que evapora, e o faz sem que as propriedades da madeira sejam afetadas. O mesmo não se dá com a água de impregnação. Logo que a água começa a se evaporar a madeira fica mais rija, sua dureza aumenta e, conseqüentemente, aparecem fendas e rachaduras. O limite entre estas duas fases chama-se "ponto de saturação das fibras ao ar". Quando a água de embebição evapora a madeira fica apta a receber as substâncias preservativas.

A secagem natural consiste em empilhar as madeiras, onde haja perfeita circulação de ar. É mais econômica, tem facilidade de ser feita e apresenta relativa eficiência. As desvantagens são:

- a) Demora na secagem;
- b) Riscos de incêndios;
- c) Grande área imobilizada no pátio da empresa.

2.3 - Laminado Colado de Bambu

Há vinte anos começou o processo de abertura política da China e, por meio deste rápido desenvolvimento, ocorreu uma grande demanda por madeiras para utilização em construções. Como naquele país existe uma abundância de espécies de bambus, os quais

ocorrem em grandes áreas, iniciou-se um processo de incentivo à pesquisa com a finalidade de desenvolvimento de painéis utilizando o bambu. Os painéis mais utilizados e fabricados são: lâminas de bambu trançadas e sobrepostas que, neste trabalho, são denominadas contraplacado, painéis de partículas de bambu e painéis com lâminas de bambu serradas, aplainadas e coladas o laminado colado de bambu, mais conhecido na China como LBL (Laminated Bamboo Lumber). Esse material pode ser utilizado na fabricação de painéis divisórios, forros, pisos, molduras, esquadrias, móveis e revestimento.

A China e Japão são os países que detêm o maior número de fábricas e de tecnologia para a fabricação do laminado colado de bambu. Um dos grandes exemplos é a Indústria Oriental, cuja matriz está situada na vila Shitatamura no Japão, que há oito anos, na cidade de Tsubame, província de Niigata, construiu uma casa, tipo "show-room", toda em laminado colado de bambu, desde estruturas, paredes, pisos e o mobiliário. Nesta construção pôde-se observar in loco os ataques de fungos, insetos e o efeito do conforto térmico do material. Observou-se que, durante o verão, no interior da casa ocorria temperatura baixa e, no inverno, temperatura mais alta. As figuras 04 A e 04 B mostram o interior dessa casa; na figura 04 C pode-se observar um detalhe do piso de laminado colado.



A

B

C

Figura 04 - Casa de Bambu no Japão

Fonte: Revista Cotens (2002)

Na Colômbia também utiliza-se de forma intensa o bambu na construção, inclusive para a fabricação do laminado colado, embora sob menor demanda. Segundo HIDALGO LOPEZ (1974), na fabricação do laminado colado na Colômbia adota-se o seguinte procedimento:

- 1- Utilização de lâminas de bambu *Guadua*, coladas em três camadas na mesma direção, montando-as até alcançar-ser o tamanho desejado;
- 2- As lâminas, coladas de três em três, são então unidas formando um bloco (figura 05).

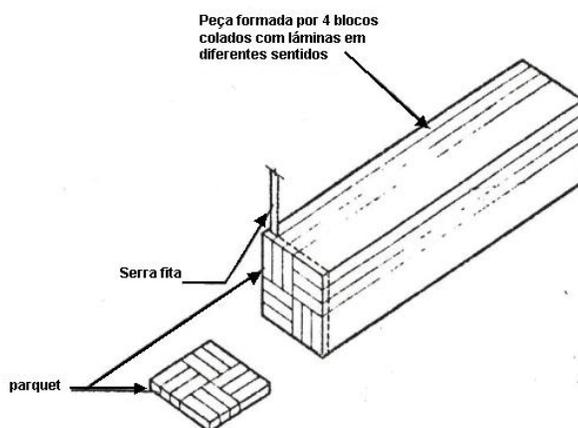


Figura. 05. Laminado produzido na Colômbia

Fonte: Adaptado de HIDALGO LOPEZ (1974)

No Brasil, o processo de obtenção do laminado colado de bambu encontra-se ainda restrito ao nível de pesquisas dentro das Universidades, sendo o primeiro relato dos resultados apresentados por CARRASCO et al. (1995) durante o V EBRAMEM (Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas em Madeiras). Os autores confeccionaram laminado colado de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, utilizando o mesmo adesivo empregado para madeira laminada e colada. Os autores procuraram seguir as mesmas normas adotadas para a madeira, adaptando-as ao bambu para a confecção dos corpos-de-prova e para a realização de ensaios. As figuras 06, 07 e 08 mostram o formato de colagem e o dispositivo utilizado para a realização do ensaio de flexão estática.

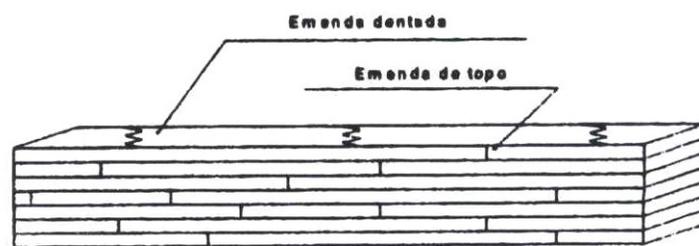


Figura 06 – Modelo de colagem das lâminas para o BLC

Fonte: CARRASCO et al. (1995)

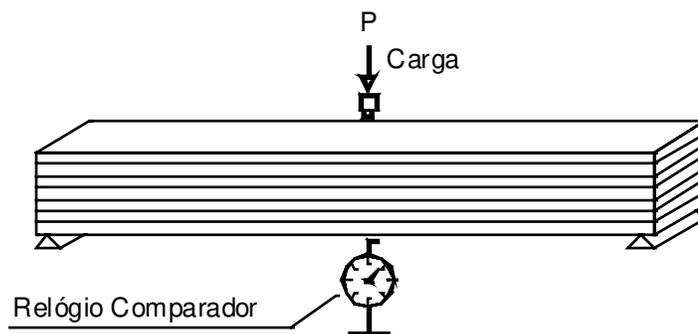


Figura 07 - Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão estática

Adaptado de CARRASCO et al. (1995)

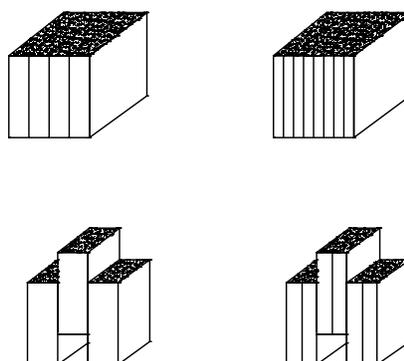


Figura 08 - Tipos de corpos-de-prova para o ensaio de cisalhamento

Adaptado de CARRASCO et al. (1995)

KOGA (2001) confeccionou placas de laminado colado de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, visando sua utilização para piso. O autor realizou testes de desgaste abrasivo, comparando o piso à base de bambu com os pisos de madeira das seguintes espécies: Maçaranduba, Ipê e Peroba-rosa. O bambu apresentou desempenho similar ao da madeira Maçaranduba, considerada a melhor dentre as espécies testadas no ensaio de abrasão.

Um dos grandes inconvenientes para o estudo do BLC refere-se à falta de normatização para a confecção dos corpos-de-prova e para a realização dos ensaios de caracterização físico-mecânica. Visando contribuir para o aprimoramento do estudo do bambu laminado colado, GONÇALVES et al. (2002) apresentaram recomendações e alguns resultados obtidos em ensaios (figura 09 e tabela 04).

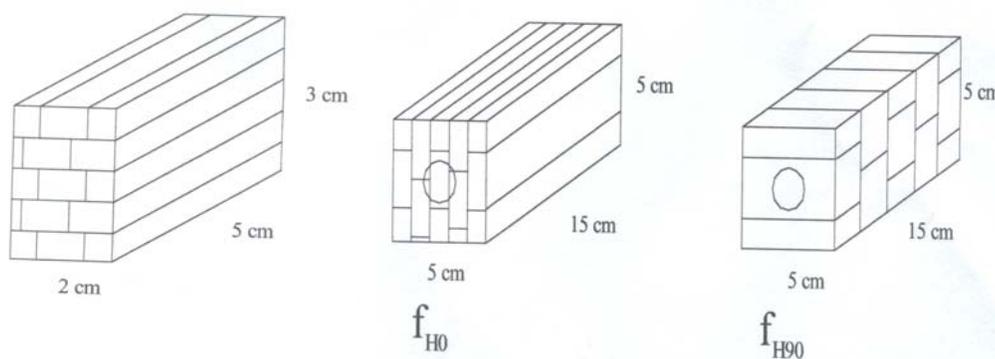


Figura 09 - Tipo de colagem para ensaio de variação dimensional e corpo-de-prova para ensaio de dureza

Fonte: GONÇALVES et al. (2002)

Tabela 04 – Resultados de ensaios de resistência mecânica

BAMBU LAMINADO COLADO	
ENSAIO	RESISTÊNCIA (MPa)
Dureza (Direção perpendicular)	34,0
Compressão Paralela às Fibras	55,0
Compressão Normal às Fibras	18,0
Tração Paralela às Fibras	195,0
Tração Normal às Fibras	2,5
Cisalhamento	10,0
Flexão	166,0

Fonte: GONÇALVES et al. (2002)

2.4 - Adesivos

2.4.1 - Histórico do uso de adesivos

Segundo CARRASCO (1984), desde os tempos dos Egípcios já se utilizava, como adesivos, a goma arábica (retirada de árvores de acácia), resinas de outras árvores, além do ovo e da borracha.

Até meados do século XX utilizava-se adesivos de origem animal ou ainda à base de vegetais. A partir de 1930, com o desenvolvimento de resinas líquidas à base de uréia – formaldeído e fenol – formaldeído, tornou-se viável a fabricação de chapas de madeira de melhor qualidade.

Em 1973, com a crise do petróleo, desencadearam-se sucessivos aumentos no preço das resinas uréia – formaldeído e fenol – formaldeído, ambas de origem petroquímica, estimulando a pesquisa por novos adesivos alternativos.

O avanço ocorrido no estudo da química das macromoléculas forneceu uma grande variedade de polímeros, com melhores características quanto ao seu aspecto adesivo, e forçou grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, de poliéster,

poliuretanas, etc. Da mesma forma, foram buscadas aplicações para os processos de colagem com as mais variadas finalidades (CARRASCO, 1984).

2.4.2 - Adesivos

De acordo com WELLONS (1977), os adesivos podem ser entendidos como sendo substâncias com propriedade de aderir fortemente a um substrato, mantendo vários substratos de um mesmo material ou materiais diferentes unidos por meio de uma ligação superficial. Esta propriedade, não intrínseca à substância, desenvolve-se sob determinadas condições enquanto interage com a superfície do aderente.

A adesão é um dos fenômenos mais importantes para a compreensão da formação da ligação adesiva, podendo ser por atração e química. A adesão por atração pode ser entendida como sendo a interação entre duas superfícies 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.

Os aderentes são os materiais sólidos ligados ao adesivo. Podem ser chamados também de substratos.

Segundo CARRASCO et al. (1995), para se proceder à avaliação do adesivo, diversos fatores devem ser considerados, tais como adesão, tempo de armazenamento, vida útil após a preparação, adesividade, tempo de cura ou velocidade de desenvolvimento de sua resistência e penetração.

2.4.3 - Propriedades do adesivo na madeira e no bambu

As propriedades da madeira e do bambu que devem ser consideradas a fim de se obter uma boa ligação são:

- Estrutura anatômica, porosidade, densidade e anéis de crescimento (este para o caso específico da madeira). As densidades da madeira e do bambu dependem da proporção entre

poros e a “madeira” propriamente dita. É ela quem determina as suas propriedades físico-mecânicas, as quais, por sua vez, são os principais determinantes do desempenho da ligação adesiva;

- Anisotropia: é manifestada pelas diferenças entre as propriedades físico-mecânicas, medidas ao longo das três direções principais da árvore (ou do bambu) sendo sempre importante sua consideração no projeto das ligações;
- Teor de umidade da madeira e do bambu: controla o bom desempenho dos adesivos, necessitando ser acompanhado e controlado rigorosamente, conforme as características de cada adesivo. A durabilidade das ligações adesivas é afetada por essas mudanças no teor de umidade, a qual, por sua vez, apresenta conseqüências nas dimensões da peça;
- Resistência a esforços estáticos e dinâmicos;
- Variação dimensional e distribuição dos nós (no caso do bambu);
- Natureza da superfície a ser colada, rugosidade, textura, capacidade de absorção, etc;
- O uso de substâncias adesivas com a finalidade de unir elementos de madeira ou bambu promove a obtenção de peças com dimensões maiores do que aquelas obtidas diretamente da árvore (ou do bambu);
- Aproveitamento dos resíduos de processamento, minimizando os defeitos técnicos e valorizando propriedades como resistência e aparência estética da superfície. O desenvolvimento de métodos científicos e econômicos para atingir estes objetivos pode ser chamado de "Engenharia de Adesivos".

2.4.4 - Tipos de adesivos

Na tabela 05 apresenta-se os vários tipos de adesivos com seus respectivos usos.

Tabela 05 – Tipos de adesivos, usos e condições

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	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 multi-componente.	Reparos estruturais.	Exteriores e interiores úmidos, boa resistência mecânica.

Fonte: HENRIQUES DE JESUS (2000)

2.4.5 - Adesivos poliuretanos (PU)

A tecnologia de poliuretanos e, principalmente, o enfoque analítico na busca de soluções alternativas é, ao mesmo tempo, ciência e arte. Desde a Segunda Guerra Mundial, químicos alemães desenvolveram poliuretanos para a fabricação de óleos impermeabilizantes, tintas, adesivos, revestimentos, espumas rígidas e flexíveis, entre outros produtos. A partir de 1940 a indústria de poliuretanos dos EUA passou a ter importância, com produção em larga escala, e o consumo desses produtos apresentou, a seguir, um crescimento extraordinário.

Devido à grande variedade de materiais que se pode obter, esse foi o ramo na área de polímeros que mais se desenvolveu nas últimas décadas. Além das espumas rígidas e flexíveis, a partir da década de 60 cresceu também a produção de outros tipos de poliuretanos, como elastômeros, tintas, adesivos, etc.

As aplicações adesivas dos poliuretanos derivam da baixa viscosidade e da alta polaridade de seus materiais formadores, que possibilitam:

- Facilidade de cura e polimerização à temperatura ambiente;
- Alta força de coesão da própria poliuretana;
- O polímero final tem estrutura e polaridade variáveis, permitindo muitas oportunidades de ligação com o substrato.

FERREIRA et al. (1988) apontaram inúmeras vantagens de se utilizar adesivos à base de resina poliuretana (PU), entre elas:

- Altas forças de coesão e de adesão;
- Processabilidade (as resinas PU resultam de operações simples e com produtos facilmente encontrados no mercado, como por exemplo, óleos vegetais);
- Flexibilidade de formulação (as resinas PU combinam-se muito bem com outros tipos de resinas que constituem adesivos à base de água, com a possibilidade de formação de novas famílias de adesivos);
- Habilidade de se transformar em emulsão aquosa (as resinas PU podem ser 100% líquidas ou dispersas em soluções hidro-oleosas);
- Versatilidade na temperatura de cura e no controle do pico exotérmico na transição líquido-gel;
- Excelentes propriedades estruturais decorrentes de ligações químicas de isocianatos com polióis;

- Habilidade na combinação química com substratos;
- Ausência de emissão de vapores irritantes.

2.4.6 - Adesivos à base de resina resorcinol-formaldeído e uréia-formaldeído

O adesivo à base de resina resorcinol-formaldeído CASCOPHEN - RS - 262, em solução de água e álcool, é recomendado para colagens resistentes à água, solventes orgânicos, fungos, intemperismo, etc. É pouco viscoso e apresenta uma resistência razoável na ausência de pressão devido à sua maior fluidez entre os poros do aderente.

O adesivo à base de uréia-formaldeído CASCAMITE 5H, é uma resina sintética aquosa, indicada para colagem de madeiras em geral, folhações, chapas duras e fabricação de compensados, não resistindo, no entanto, à umidade excessiva.

2.4.7 - Recomendações construtivas para o uso de adesivos

Para se conseguir uma boa ligação adesiva é recomendável:

- Remover o pó, óleo ou qualquer outro material capaz de reter o ar ou impedir o contato do adesivo com o aderente;
- Eliminar qualquer composto orgânico desprovido de afinidade atrativa com o adesivo;
- As proporções da mistura resina e catalisador, recomendados pelos fabricantes, devem ser rigorosamente atendidas;
- Aplicar uma pequena pressão, para desenvolver adequadamente a cura do adesivo;
- Aplainar as superfícies muito rugosas promovendo um contato íntimo e melhor fluxo do adesivo;
- Durante a secagem ou cura o adesivo não deve sofrer retrações exageradas, responsáveis por tensões excessivas nas ligações.

Todos os adesivos estudados possuem boas características de acordo com a sua utilização, a maioria destes são comercializados no mercado para uso em marcenaria.

Os adesivos sintéticos, com as inovações tecnológicas, conseguem atender à demanda do mercado. Dentre eles os que apresentam maiores resistências são aqueles à base de fenol-formaldeído e de resorcinol-formaldeído, ambos à prova d'água e resistentes ao ataques de fungos e à ação química de preservativos para madeira. Seus polímeros penetram com facilidade nas fibras da madeira, necessitando, no entanto, de pressão. A diferença entre estes dois adesivos é que o resorcinol formaldeído pode ser curado tanto em temperatura ambiente quanto em alta temperatura. Ambos são utilizados pelas indústrias de madeira laminada colada

Os adesivos à base de uréia-formol são utilizados tanto em temperatura ambiente quanto em alta temperatura, possuem coloração clara, baixo custo, porém sua vida útil é de apenas 90 dias na condição líquida, e não suportam colagens submetidas a grandes esforços.

Estes adesivos em sua maioria são tóxicos. Uma das inovações em pesquisa na área de adesivos é um produto alternativo à base de mamona, desenvolvido e patenteado pela Universidade de São Carlos; o material apresenta boa resistência às intempéries, com baixa emissão de elementos tóxicos. Ensaio preliminares realizados, comparando-o com o adesivo à base de resorcinol-formol (CASCOPHEN), indicaram um bom desempenho para a fabricação de laminado colado de madeira.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Espécies de bambu utilizadas

As espécies *Dendrocalamus giganteus* (Bambu gigante) e *Bambusa vulgaris* foram escolhidas para o desenvolvimento deste trabalho, em função de suas propriedades físico-mecânicas e facilidade de obtenção. Escolheu-se a espécie *B. vulgaris*, embora mais atacável pelo caruncho (*Dinoderus minutus*), devido à sua maior facilidade de plantio.

Nas figuras 10 e 11 pode-se observar o aspecto de touceiras dessas duas espécies de bambu.



Figura 10 – Touceira de bambu *D. giganteus*



Figura 11 - Touceira de *B.*

vulgaris

Características das espécies de bambu escolhidas:

Dendrocalamus giganteus

- Colmos com grandes dimensões, podendo atingir até 20 m;
- Grande espessura da parede dos colmos, variando de 1 cm a 2 cm;
- Grande comprimento dos internós, variando entre 40 cm a 50 cm;
- Aproveitamento quase total do colmo.

Bambusa vulgaris

- Colmos com grandes dimensões variando de 10 m a 15 m de altura, utilizando-se apenas parte em torno de 2 m a 3 m;
- Internós variáveis de 30 cm a 50 cm;

- Nós de pequenas proporções, facilitando a utilização com os mesmos;
- Espessura da parede dos colmos variando de 0,5 cm a 1,0 cm.

Essas duas espécies de bambu foram escolhidas devido às suas potencialidades para a fabricação do laminado colado e contraplacado, para os quais um requisito importante é a espessura da parede dos colmos.

3.1.2 - Retirada dos colmos

Os colmos de bambu utilizados para a confecção do material em estudo foram retirados da Fazenda Santa Elisa, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, sob a orientação do pesquisador Anízio Azzini. Foram retirados os colmos com idade de cinco anos, do interior das touceiras, com a utilização do equipamento moto-serra, com o qual se efetuou uma limpeza grosseira dos colmos para facilitar o transporte.

O material foi transportado até o galpão do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, onde foi cortado em pedaços de colmo para facilitar o processo de tratamento preservativo.

3.1.3 - Processo de preparo para o tratamento

As pontas dos colmos dos bambus foram descartadas, pois a espessura das paredes era muito limitada, o que comprometeria a etapa de produção das peças para realizar o laminado colado.

- *Dendrocalamus giganteus*: não foram utilizados os nós, devido à imperfeição localizada;
- *Bambusa vulgaris*: aproveitou-se apenas a região dos internós, devido à grande curvatura presente na região dos nós.

Após a realização da primeira parte do procedimento de corte, os colmos cortados foram transformados em taliscas com a utilização de ferramenta apropriada, desenvolvida para essa finalidade, conforme mostram as figuras 12 (A e B).



A.



B

Figura 12 - Dispositivo de corte do colmo de bambu

O equipamento mostrou um bom desempenho apenas para a produção de taliscas de bambu gigante. Para a outra espécie utilizada, a largura de corte produzida implicava na seleção de materiais com grande curvatura; tal fato provocaria grandes dificuldades na etapa seguinte de usinagem das taliscas. Desse modo, para o *B. vulgaris* optou-se pelo uso de uma lâmina metálica, ao invés do uso do equipamento especificamente desenvolvido para o corte dos colmos. A lâmina metálica, apoiada nas camadas externas do colmo, era golpeada por um martelo. Devido à estrutura anatômica do bambu (ausência de raios), essa operação era rápida.

3.1.4 - Tratamento

As taliscas de bambu foram divididas de acordo com a espécie utilizada, e foram submetidas a dois tipos de tratamento, a saber:

a) Tratamento químico: Foi realizado conforme as recomendações de AZZINI e BERALDO (2001), utilizando-se dos seguintes produtos: dicromato de sódio, sulfato de cobre e ácido bórico, todos com concentração de 1%, diluídos em água. Os produtos eram misturados em

um recipiente plástico e, em seguida, as taliscas eram submersas com o auxílio de um peso para que não flutuassem. Diariamente verificava-se o nível da solução preservativa; após uma semana, as taliscas eram retiradas e lavadas em água corrente (para eliminar o excesso de produtos químicos).

b) Tratamento em água: consistiu apenas da submersão das taliscas de bambu em água potável colocada em recipiente plástico. Como as espécies utilizadas são ricas em amido, houve a ocorrência de um processo de fermentação. Para o *D. giganteus* houve necessidade de efetuar a troca de água desde o primeiro dia; para o *B. vulgaris* efetuava-se a troca de água desde o segundo dia. O período de permanência das taliscas em água foi de uma semana.

3.1.5 -Secagem

O processo de secagem foi desenvolvido de duas formas diferentes: a primeira delas utilizando-se de uma estufa com temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; na segunda forma procedeu-se à secagem natural. Em ambas situações foi adotado, como indicativo final do processo, a estabilização da massa das amostras, que ocorreu após cerca de 72 h (estufa) e um mês (ambiente).

3.1.6 - Processo de usinagem das taliscas

Para o processo de aparelhamento das taliscas, foi desenvolvido um dispositivo, em função da dificuldade encontrada para o aparelhamento nos equipamentos convencionais de marcenaria. O bambu, por ser bastante fibroso, principalmente na casca (presença de sílica), provocou desgaste acentuado das lâminas metálicas.

3.1.7 - Dispositivo para aparelhamento das taliscas

No Brasil ainda não existe um grande interesse pela exploração e pelo processamento do bambu. Devido à ausência no mercado de equipamentos específicos, para proceder a usinagem do bambu tornou-se necessário utilizar ferramentas adaptadas.

Confeccionou-se um dispositivo para o aparelhamento das taliscas, com a finalidade de retirar parte do diafragma, das camadas internas e de uma fina camada externa. Ambas as camadas eram eliminadas pois apresentavam superfícies muito lisas, as quais iriam comprometer a penetração e aderência com as resinas, bem como fornecer maior uniformidade às lâminas, conforme ilustra a figura 13.

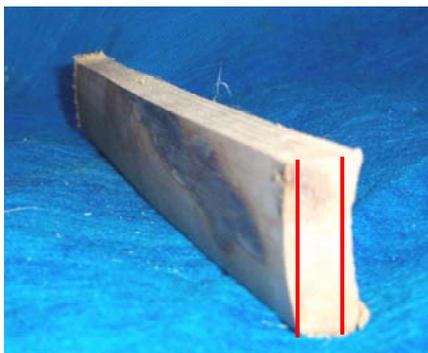


Figura 13 - Lâmina do bambu mostrando parte que era eliminada

O dispositivo atuava como se fosse uma garra, controlando a uniformidade em espessura da talisca. Esta era presa horizontalmente em uma morsa, adaptada à fresa, a qual girava em 180 rpm. A usinagem era efetuada acompanhando a direção das fibras (figura 14).



Figura 14 - Dispositivo para usinagem

3.2 – Adesivos

Para a confecção do laminado colado e do contraplacado foram utilizados os adesivos CASCOPHEN RS-216-M, misturado ao preparado endurecedor FM-60-M e CASCAMITE 5-H, junto com o preparado endurecedor M-8. Os adesivos são indicados para prensagem a frio, sendo fabricados pela BORDEN Química.

3.2.1 – Características dos adesivos

CASCOPHEN RS-216-M

É uma resina sintética à base de Resorcinol-Formol, diluída em solução água/álcool, recomendada para colagens resistentes à água fria ou quente. Cola todos os tipos de madeira, inclusive aquelas tratadas com preventivos contra fogo, sendo indicada para utilização na indústria naval. Suas características estão apresentadas na tabela 06.

Tabela 06. Características do Adesivo Cascophen

CARACTERÍSTICAS	
Aspecto do produto	Líquido de cor escura
Viscosidade (Brookfield, 2/20/25 °C), cP	530-650
Teor de sólidos (1g/3 h/105 °C), %	53-58
Gel Time (21 °C), horas (Adesivo + Preparador)	3,5-6,0
pH (25 °C)	6,9 – 7,5

FONTE: Borden Química (2001/2002)

CASCAMITE 5-H

É uma resina sintética, líquida aquosa, à base de uréia-formol, utilizada em colagens em geral na fabricação de compensados. É resistente à umidade, apresenta linha de colagem

macia, porém não suporta o intemperismo. Esta resina pode ser utilizada com os endurecedores K-6 ou M-8, sendo o K-6, mais indicado para climas frios (até 20 °C), e o M-8 para climas quentes. A tabela 07 mostra as características do material.

Tabela 07. Características do Adesivo Cascamite 5-H

CARACTERÍSTICAS	
Aspecto do produto	Líquido, branco leitoso
Teor de sólidos (0,5 g/3 h/105 °C), %	64 - 66
Viscosidade (Brookfield, 2/20/25°C), cP	400 - 1000
pH (25 °C)	7,4 - 7,8
Densidade (25 °C), g/cm ³	1,28 - 1,30

FONTE: Borden Química (2001/2002)

3.2.2 – Preparo dos adesivos

Os adesivos foram preparados seguindo a orientação do fabricante, adotando-se as seguintes proporções:

CASCOPHEN RS-216: Para cada 100 partes de Cascophen foram utilizadas 20 partes de preparador endurecedor misturado à resina, até obter-se uma mistura homogênea. A mistura devia ser utilizada em, no máximo, 1,5 h.

CASCAMITE 5-H: Para cada 100 partes de Cascamite foram utilizadas 10 partes do preparado endurecedor M-8, 20 partes de farinha de trigo e 20 partes de água. A farinha de trigo tem a função de extensor na mistura do adesivo, com a finalidade de concorrer para o bom resultado da colagem, tanto no aspecto técnico como no econômico. Após o preparo, se não houver agitação do adesivo, o tempo de aplicação é de apenas 40 minutos.

3.3 – Bambu laminado e colado (BLC)

O bambu laminado colado (BLC) foi elaborado a partir de lâminas de bambu obtidas de colmos com idade de 5 anos, coladas entre si. O adesivo foi distribuído com o auxílio de um pincel utilizando-se 5 g/cm², sendo as fibras dispostas paralelamente ao eixo da peça. As lâminas foram cortadas com 3 cm de largura e, após o processo de usinagem e aparelhamento, apresentavam dimensões médias de 2,5 cm de largura e 30 cm de comprimento. A metodologia inicial adotada foi a mesma utilizada para a elaboração da Madeira Laminada Colada (MLC), de acordo com CARRASCO et al. (1995).

Para a espécie *Dendrocalamus giganteus* foram utilizadas três laminas para a colagem. A peça era envolvida em toalha de papel jornal, evitando-se derramar o excesso de material na prensa. Como o *B. vulgaris* apresenta as taliscas menos espessas, foram utilizados quatro lâminas a fim de obter a mesma espessura do laminado confeccionado com o bambu gigante.

3.3.1 - Dispositivo para a prensagem

Para facilitar o processo de produção do BLC desenvolveu-se um dispositivo permitindo que fossem prensadas simultaneamente duas peças de cada vez. Com o auxílio de parafusos e de uma chave, à medida que a prensa atuava sobre as chapas metálicas (colocadas sobre as lâminas de bambu) efetuava-se o travamento do conjunto (figura 15).



Figura 15 - Dispositivo para a prensagem das lâminas

3.3.2 - Prensagem

Para a confecção do BLC e do Contraplacado foi utilizada uma prensa CHARLOT, aplicando-se a carga de 5 toneladas, correspondendo à pressão de 55,56 kgf/cm², permanecendo o dispositivo com as taliscas por um período de 10 minutos (figura 16). Após a prensagem, retirava-se o dispositivo com as lâminas de BLC. A desmoldagem era efetuada após 10 h (Cascophen) e 24 h (Cascamite).



Figura 16 - Dispositivo colocado na prensa

3.4 – Contraplacado de bambu

O processo adotado para a elaboração do contraplacado seguiu quase os mesmos procedimentos quanto à metodologia e à idade dos colmos utilizados para a confecção do laminado colado de bambu. Porém, para a espécie *D. giganteus*, devido à espessura das lâminas foram escolhidas taliscas sem nó, operação que dificultou a uniformidade das lâminas, não sendo necessário a utilização do dispositivo para a prensagem, e sim um guia para que as lâminas coladas não se movessem durante a prensagem, aplicando-se uma pressão de 6,94 kgf/cm².

A confecção consistiu na contraposição de lâminas de bambu, com largura variando entre 3 mm a 3,5 mm e 30 cm de comprimento, coladas entre si e nas laterais em três camadas na direção cruzada, conforme mostra a figura 17.



Figura 17 - Disposição das lâminas para o Contraplacado

3.5 - Procedimentos para confecção do BLC e do Contraplacado de bambu (CPB)

- 1- Escolha dos colmos de bambu na touceira;
- 2- Corte da parte mais fina do colmo, procedimento obtido para as duas espécies (*D. giganteus* e *B. vulgaris*);
- 3- Corte dos colmos em peças menores, de acordo com a espécie:
 - *D. giganteus*: Corte dos colmos e eliminação dos nós;
 - *B. vulgaris*: Os colmos eram cortados com os nós, retirando-se apenas aqueles mais espessos;
- 4- Corte dos colmos em taliscas, com auxílio de um facão ou da ferramenta desenvolvida;
- 5- Tratamento das taliscas de acordo o método aplicado (químico ou em água);
- 6- Lavagem das taliscas;
- 7- Secagem das taliscas em temperatura ambiente durante um mês ou em estufa, à temperatura de 70 °C, durante 72 h;
- 8- Usinagem das taliscas eliminando-se parte do diafragma e da pequena camada da casca;
- 9- Limpeza da peça para colagem;
- 10- Preparo do adesivo e colagem, envolvendo as taliscas em papel absorvente ou jornal;
- 11- Colocação das taliscas na prensa ou no dispositivo quando houver problema de espaço para prensagem;
- 12- Tempo de prensagem variando de acordo com o adesivo utilizado: Cascamite (24 h), Cascophen (10 h);

- 13- Retirada da peça do dispositivo;
- 14- Aplainamento das peças;
- 15- Execução dos corpos-de-prova para os ensaios.

3.6 – Ensaios Realizados

3.6.1 - Ensaio não destrutivo (END)

O ensaio não destrutivo (END) por ultra-som buscou avaliar de forma rápida as melhores peças de bambu (aquelas ao longo das quais a velocidade de propagação fosse mais elevada), de forma a colocá-las nos pontos mais solicitados do BLC. Para uma aplicação industrial este ensaio torna-se imprescindível para a seleção das melhores peças. No entanto, nesta pesquisa não foi realizada a seleção das peças do BLC. O END por ultra-som foi realizado com o auxílio de um equipamento Ultrasonic Tester BP – 7 (Steinkamp), com sensores de seção exponencial, com frequência de ressonância de 45 kHz. Nesta frequência, para a situação mais crítica, correspondendo à propagação na direção radial (velocidade de ordem de 500 m/s), poder-se-ia obter dois comprimentos de onda na direção considerada. Caso a espessura da peça de BLC ou do Contraplacado fosse muito reduzida seria necessário utilizar sensores de maior frequência de ressonância (80 kHz, por exemplo).

Os corpos-de-prova foram divididos de acordo com o tipo de tratamento, com a espécie e com o tipo de adesivo utilizado. Aplicou-se o ultra-som na direção longitudinal às fibras, sempre na região de interface entre o adesivo e as taliscas de bambu. As direções de propagação das ondas foram denominadas: axial (paralela às fibras), radial (transversal às linhas de colagem) e tangencial (paralela à linha de colagem). Obteve-se a velocidade média efetuando-se a medição em três pontos para cada direção considerada, conforme a figura 18.

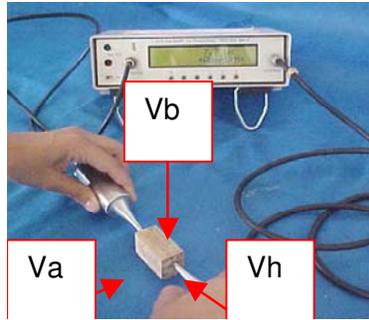


Figura 18 - Posições do Ultra-som no BLC

Para o contraplacado foi adotado o mesmo procedimento descrito para o BLC (figura 19).

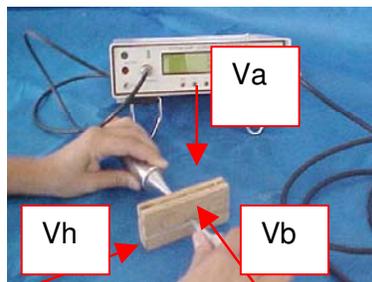


Figura 19 - Posições do Ultra-som no Contraplacado

Buscou-se avaliar nos corpos-de-prova do BLC (24 exemplares) e Contraplacado (6 exemplares), o módulo de elasticidade (módulo dinâmico), por meio do produto da massa específica aparente do material pelo quadrado da velocidade de propagação da onda ultrassônica. Esse valor foi comparado com aqueles obtidos nos ensaios destrutivos, buscando-se correlacionar os valores obtidos conforme se procura verificar para outros materiais, tais como a madeira.

3.6.2 - Estabilidade dimensional

Este ensaio tem por objetivo determinar o grau de estabilidade dimensional do bambu, por meio das propriedades de retração e inchamento. Procurou-se seguir as recomendações da NBR 7190/97, em seu anexo B, na qual se relata os procedimentos para a execução de ensaios de madeiras.

Foram efetuadas três marcações em faces do corpo-de-prova, representativas das três direções anatômicas: longitudinal ou axial, tangencial e radial. Essas duas últimas, para o caso do laminado, correspondem, respectivamente, às direções paralela e normal à posição da casca do bambu.

Os corpos-de-prova foram pesados e medidos em todas as direções marcadas; em seguida foram colocados em um recipiente para a saturação. Medições e pesagem foram realizadas após 2 h, 24 h, 48 h e 72 h. Após a saturação os corpos-de-prova foram levados à estufa durante 48 h, quando alcançaram estabilidade em massa

De acordo com o relato da NBR 7190/97, as porcentagens de retração (ε_r) e de inchamento (ε_i), são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas, para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões da amostra saturada (verde) e seca (anidra). Os índices são calculados pela porcentagem da razão entre a diferença da dimensão da amostra saturada e anidra, pela dimensão saturada (retração) ou anidra (inchamento).

A variação volumétrica foi calculada pela porcentagem da razão entre a diferença do volume da amostra saturada e anidra, pelo volume na condição saturada (retração) e anidra (inchamento). Os valores de retração e de inchamento foram obtidos por:

$$\text{Retração axial} \quad \varepsilon_{r,1} = \left[\frac{L_{1,sat} - L_{1,sec a}}{L_{1,sat}} \right] \times 100$$

$$\text{Retração radial} \quad \varepsilon_{r,2} = \left[\frac{L_{2,sat} - L_{2,sec a}}{L_{2,sat}} \right] \times 100$$

$$\text{Retração tangencial} \quad \varepsilon_{r,3} = \left[\frac{L_{3,sat} - L_{3,sec a}}{L_{3,sat}} \right] \times 100$$

$$\text{Inchamento axial} \quad \varepsilon_{i,1} = \left[\frac{L_{1,sat} - L_{1,sec a}}{L_{1,sec a}} \right] \times 100$$

$$\text{Inchamento radial} \quad \varepsilon_{i,2} = \left[\frac{L_{2,sat} - L_{2,sec a}}{L_{2,sec a}} \right] \times 100$$

$$\text{Inchamento tangencial} \quad \varepsilon_{i,3} = \left[\frac{L_{3,sat} - L_{3,sec a}}{L_{3,sec a}} \right] \times 100$$

3.6.3 - Ensaio de cisalhamento na superfície colada para o BLC e para o Contraplacado

A resistência ao cisalhamento na direção das fibras é uma característica mecânica de grande importância em ligações, uma vez que a transmissão de carga na maioria das ligações adesivas ocorre por esse tipo de esforço.

Com o propósito de verificar o comportamento do bambu à essa solicitação foram ensaiados, quanto ao cisalhamento, 24 corpos-de-prova de laminado colado de bambu com dimensões 5 cm x 2,5 cm x 3 cm e 6 corpos-de-prova de contraplacado nas dimensões 10 cm x 4,5 cm x 2 cm. A confecção dos corpos-de-prova seguiu a mesma metodologia adotada por CARRASCO et al. (1995), utilizando-se uma fresadora universal, marca Sanchesbraves, com rotação de 180 rpm, usando uma fresa de topo de 10 mm de diâmetro com 4 cortes, confeccionada em aço rápido com 12% de cobalto (figuras 20 A e B).



A

B

Figura 20 - Preparação do corpo-de-prova na fresa: etapas 1 e 2

O ensaio de cisalhamento na superfície colada foi realizado no Laboratório de Ensaios de Protótipos da FEAGRI, utilizando-se de uma máquina de ensaio de CBR, marca Soloteste, com célula de carga de 5 t. A leitura foi efetuada com o auxílio do anel dinamométrico, adaptado ao torno mecânico Nardini, com velocidade constante de 10 mm/min.

A tensão de cisalhamento foi obtida por meio da expressão:

$$\tau = \frac{P_r}{A_c}$$

Onde:

P_r = carga de ruptura (kgf);

A_c = área colada do corpo-de-prova, correspondendo à média das arestas (em cm²).

A resistência do bambu é proporcional à quantidade de fibras do mesmo. A maior concentração destas se dá próximo à casca (até 70%) e diminui à medida que se caminha em direção ao centro; desse modo a resistência será tanto maior quanto mais próximo o material escolhido estiver da casca. Na confecção dos corpos-de-prova, a colagem foi executada tomando-se o cuidado de não permitir que duas lâminas ficassem justapostas, deixando-se casca com casca ou miolo com miolo, o que poderia, eventualmente, provocar uma ruptura em uma região de menor resistência (miolo/miolo).

3.6.4 - Ensaio de cisalhamento no bambu (BLC)

Este ensaio foi realizado somente para o laminado colado, confeccionado com *D. giganteus*, submetido ao tratamento químico e confeccionado com o adesivo Cascophen. A forma de colagem seguiu outra metodologia, com a finalidade de acompanhar os procedimentos de ensaios da norma NBR 7190/97 para madeiras. As lâminas foram coladas em duas etapas: primeiramente confeccionou-se um bloco com 5 lâminas, em seguida, ele era unido a outro bloco de 5 lâminas. As figuras 21(A e B), mostram o procedimento de colagem. Confeccionado o grande bloco, este foi dividido em 4 pequenos blocos nas dimensões 4 cm x 4 cm x 4 cm.



Figura 21 - Blocos colados individualmente e colagem de dois blocos

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas em Madeiras (LaMEM – EESC – USP), em um equipamento Dartec, com velocidade de deslocamento de 10 mm/min.

3.6.5 - Ensaio de flexão estática

O BLC e o Contraplacado foram submetidos ao ensaio de flexão estática. Para o BLC foram confeccionadas 24 vigas, com 30 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e 3 cm de

altura, utilizando-se as duas espécies de bambu (*D. giganteus* e *B. vulgaris*), dois tratamentos (químico e água) e dois adesivos (Cascophen e Cascamite). Utilizou-se três corpos-de-prova para cada combinação (bambu, tratamento e adesivo). Para o Contraplacado foi utilizada apenas a espécie *D. giganteus*, tratamento químico das taliscas e os dois adesivos também utilizados no BLC. Foram confeccionados 3 corpos-de-prova para cada grupo de adesivo, nas dimensões 21 cm de comprimento, 10 cm de largura e 2 cm de altura. Estas medidas foram relacionadas com as medidas naturais de uma chapa de compensado existente no mercado, uma vez que não se dispõe em literatura de informações sobre este material. Dos 24 corpos-de-prova utilizados para este ensaio, após rompimento, deles foram retiradas as partes intactas para caracterização dos corpos-de-prova, para os ensaios de compressão simples, cisalhamento, umidade e variação dimensional.

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da USP, no Campus de Pirassununga, utilizando uma máquina Emic DL 30000, com célula de carga de 30 t, este equipamento gerava a medida da energia específica do BLC e CPB. Não foi utilizado o extensômetro em função da grande flexibilidade do bambu, sendo confeccionado um dispositivo metálico de 30 cm de altura, com largura controlável, permitindo atingir vãos de 15 cm a 25 cm, podendo ser utilizado tanto para o BLC como o Contraplacado. A figura 22 mostra o dispositivo de ensaio.



Figura 22 - Dispositivo para ensaio de Flexão

3.6.6 - Ensaio de compressão simples

O ensaio foi realizado em duas etapas. Na primeira delas buscou-se avaliar o comportamento de pequenos corpos-de-prova (5 cm x 2,5 cm x 3 cm) quando submetidos a essa solicitação. O ensaio foi conduzido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas em Madeiras (LaMEM – EESC – USP), em um equipamento Dartec, com velocidade de deslocamento de 10 mm/min. Na segunda etapa, avaliou-se as tensões no limite de proporcionalidade e de ruptura, e buscou-se obter o módulo de elasticidade do material mediante a aplicação de carga na direção axial ao corpo-de-prova (15 cm x 5 cm x 5 cm), conforme indica a norma NBR 7190/97 para ensaios com madeiras. As deformações foram medidas em duas faces opostas de cada corpo-de-prova por meio de relógios comparadores com sensibilidade de milésimos de milímetros. A deformação correspondente à cada tensão foi colocada em um gráfico, sendo feita, em seguida, uma regressão linear para obter a equação da reta. Como no regime elástico é válida a equação:

$$\sigma = E \varepsilon$$

o valor de E foi obtido diretamente do coeficiente angular da reta, fornecido pelo software Excel. A figura 23 mostra o corpo-de-prova na máquina de ensaio, com relógios comparadores.



Figura 23 - Corpo-de-prova na máquina de ensaio, com relógios comparadores

3.6.7 - Ensaio de flexão dinâmica ao choque

Uma das possibilidades de uso para o bambu laminado colado é na fabricação de cabo de ferramentas, as quais, durante sua utilização, são submetidas a esforços de impacto. Corpos-de-prova de BLC (2 cm x 2 cm x 30 cm) foram ensaiados na Divisão de Madeiras do IPT – SP, em um equipamento denominado Pêndulo de Charpy, conforme procedimento descrito na NBR 6230/1985 (substituta do MB 26/1940).

Os corpos-de-prova foram submetidos, em sua região central (vão de 24 cm), ao impacto de um pêndulo de 10 kgf, elevado a 1 m de altura. O equipamento dispõe de um sistema de leitura que indica a energia dissipada para romper o corpo-de-prova. Foram calculados dois coeficientes:

Coefficiente de Resiliência (K)

$$k = \frac{w}{bh^{\frac{10}{6}}}$$

W = energia dissipada para romper o corpo-de-prova (kgf.m);

b , h = base e altura (em cm) do corpo-de-prova, respectivamente.

Cota Dinâmica (CD)

$$CD = \frac{k}{d^2}$$

d = massa específica aparente do corpo-de-prova.

Os ensaios foram realizados em seis corpos-de-prova de bambu laminado colado, confeccionados com bambu *D. giganteus*, utilizando-se os dois tipos de adesivo. As figuras 24 (A e B) mostram o corpo-de-prova no momento do ensaio



A



B

Figura 24 - Máquina de ensaio para impacto e detalhe do Pêndulo de Charpy

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Ensaio não destrutivo (END) para o BLC

Na tabela 08 são apresentados os resultados obtidos utilizando-se o aparelho de ultrassom em corpos-de-prova de BLC, antes de efetuar o ensaio de compressão simples (2,5 cm x 3 cm x 5 cm). As velocidades referem-se às direções tangencial (Va), radial (Vb) e longitudinal (Vh).

Tabela 08 - Médias das velocidades de propagação de ondas ultra-sônica (em km/s) para cada grupo de três corpos-de-prova.

CP	Bambu	Tratamento	Adesivo	va	vb	vh
Média	DG	Água	Cascoph	0,98	0,56	6,25
DP				0,07	0,04	0,08
CV (%)				6,94	6,53	1,21
Média	DG	Químico	Cascoph	1,26	0,52	5,63
DP				0,15	0,04	0,14
CV				12,21	8,30	2,51
Média	DG	Água	Cascamite	1,20	0,60	5,58
DP				0,12	0,09	0,38
CV (%)				10,10	14,28	6,76
Média	DG	Químico	Cascamite	1,12	0,55	5,91
DP				0,10	0,02	0,33
CV (%)				8,89	3,05	5,53
Média	BV	Água	Cascoph	1,10	0,60	5,98
DP				0,11	0,12	0,07
CV (%)				10,37	19,62	1,20
Média	BV	Químico	Cascoph	1,12	0,60	6,08
DP				0,08	0,06	0,21
CV (%)				7,06	9,62	3,41
Média	BV	Água	Cascamite	0,97	0,57	5,76
DP				0,04	0,01	0,26
CV				3,67	2,51	4,49
Média	BV	Químico	Cascamite	0,99	0,53	5,95
DP				0,07	0,09	0,04
CV (%)				6,82	17,43	0,72

Legenda: DG- *Dendrocalamus giganteus*;
BV- *Bambusa vulgaris*.

Os resultados destacados em negrito na tabela 08 indicam que a velocidade de propagação na direção longitudinal foi da ordem de 6 km/s, sendo equivalente à velocidade obtida em colmos do bambu (BERALDO et al., 2002), aplicando este mesmo tipo de ensaio e equipamento a porções do colmo de bambu e taliscas da espécie *D. giganteus*. O ensaio não destrutivo (END) vem se constituindo em uma importante ferramenta de referência das propriedades das madeiras. Estudos realizados indicam a predominância da velocidade de propagação das ondas, para a madeira na condição seca, na direção longitudinal, com valores médios de 5,4 km/s a 6,0 km/s.

Na direção tangencial (Va) os valores das médias situaram-se entre 0,9 km/s e 1,3 km/s, comparáveis àqueles encontrados por BERALDO et al. (2002) para taliscas (médias de 1,6 km/s). Os valores encontrados para o BLC foram menores pelo fato de nesta região existir o adesivo, e, em algumas peças, a aplicação do pulso ultra-sônico ocorreu na parte mais frágil, da ligação da lâmina com adesivo.

Na direção radial (Vb) os valores das médias (0,6 km/s) foram inferiores àqueles obtidos em outra direção. Verifica-se, na tabela 08, que nesta orientação a heterogeneidade do BLC é mais pronunciada. Enquanto que, para as velocidades descritas precedentemente, a propagação se efetua ao longo das células do bambu, na direção radial, ao contrário, a propagação da onda é dificultada pela presença das diversas camadas de adesivo e de lâminas de bambu.

4.2 - Ensaio não destrutivo aplicado ao Contraplacado de Bambu

Conforme apresentado na tabela 9 observa-se que, na direção longitudinal (Vh), apenas os corpos-de-prova de bambu *D. giganteus* utilizando-se o adesivo Cascophen, forneceram velocidades similares àquelas encontrada para o BLC, taliscas de bambu e madeiras. Este resultado provavelmente seja consequência da utilização de sensor exponencial de frequência inadequada (45 kHz), sendo necessário um equipamento de 200 kHz, não se encontrava disponível no laboratório. Outra possibilidade seria á de aumentar a dimensão do corpo-de-prova.

A velocidade de propagação na direção radial (V_b) foi da ordem de 0,75 km/s para ambos os adesivos, sendo ligeiramente superior àqueles obtidos no BLC (0,6 km/s). Esse fato pode ser explicado pela menor quantidade de lâminas dispostas nessa direção. Em relação às velocidades obtidas em taliscas de bambu por BERALDO et al. (2002), obteve-se um valor da ordem de 50%, devido à presença das juntas de colagem.

Na direção tangencial (V_a) aconteceu uma particularidade com o material utilizando o adesivo Cascamite, pois algumas lâminas estavam na direção das fibras, tendo apenas o adesivo como atenuante da velocidade. Obteve-se média de 0,45 km/s; com a utilização do adesivo Cascophen esta média foi menor (0,35 km/s), em decorrência do local de aplicação do ultra-som ter sido a região de contato entre a lâmina e o adesivo.

Tabela 9 - Médias de velocidade de propagação de onda ultra-sônica (em Km/s) no Contraplacado

CP	Bambu	Tratamento	Adesivo	va	vb	vh
1	DG	Químico	Cascoph	4,99	0,66	2,37
2	DG	Químico	Cascoph	4,47	0,87	2,99
3	DG	Químico	Cascoph	4,12	0,69	3,48
Média				4,53	0,74	2,95
DP				0,44	0,11	0,56
CV (%)				9,64	15,57	18,87
4	DG	Químico	Cascamite	3,68	0,76	5,00
5	DG	Químico	Cascamite	3,62	0,73	5,92
6	DG	Químico	Cascamite	3,14	0,74	5,44
Média				3,48	0,75	5,45
DP				0,29	0,01	0,46
CV (%)				8,46	1,70	8,42

4.3 – Absorção e variação dimensional do BLC

Diversos materiais de construção têm suas propriedades de resistência dependentes do seu teor de umidade. Desse modo será detalhado o teor de umidade do BLC e do Contraplacado quando forem apresentados os resultados dos diferentes ensaios realizados.

Os resultados obtidos para as duas espécies de bambu, para os dois adesivos e para os tratamentos utilizados são apresentados nas figuras 25, 26, 27 e 28, nas quais se verificam os gráficos de inchamento e de retração.

A absorção de água para o BLC foi muito elevada: 12,6% para o período de 2 h, 47,1% para 24 h e 73,0% para 72 h. Embora o bambu seja um material altamente higroscópio, pode-se atribuir a maior responsabilidade pela absorção excessiva à interface entre o bambu e o adesivo, principalmente nos pontos de fissuras.

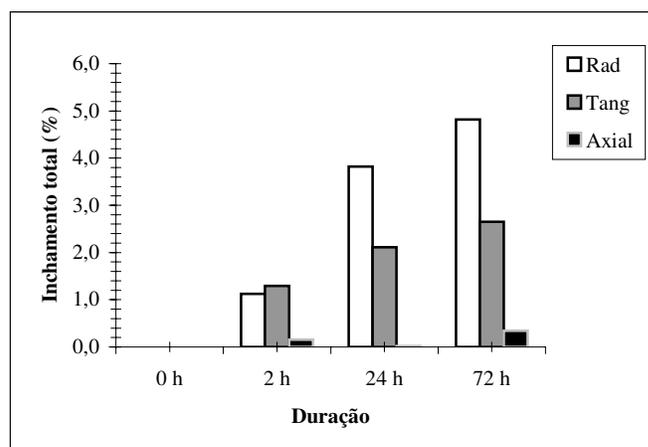


Figura 25 - Inchamento total do BLC (*B. vulgaris*, tratamento químico, adesivo Cascophen)

Contrariamente ao que ocorre com as madeiras, a variação dimensional do bambu na direção radial foi superior àquela obtida na direção tangencial (figura 26). Para o BLC e para o Contraplacado foi observada essa mesma tendência.

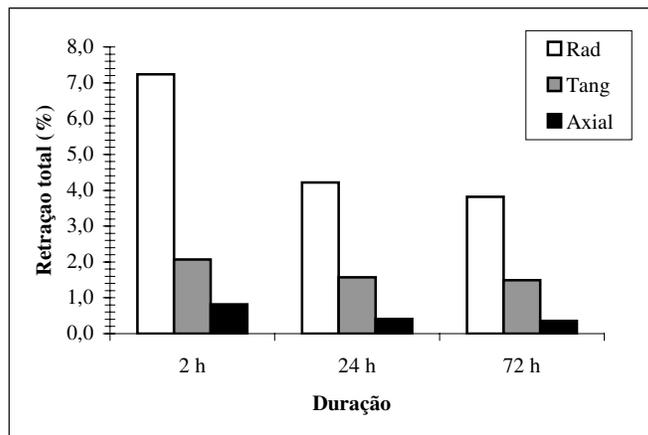


Figura 26 - Retração total para o BLC (*B. vulgaris*, tratamento químico, adesivo Cascophen)

Na direção radial os resultados foram comparáveis aos das espécies de madeiras leves, tais como o Pinho (3,20%), sendo inferior às espécies Cedro, Mandioqueira, Paineira e Imbiruçu, com valores de 4,6%, 4,6%, 5,2% e 4,4%, respectivamente.

Na direção tangencial observou-se um valor de 2,07%, enquanto que para as mesmas espécies de madeiras comparadas na direção radial tem-se os seguintes valores: Pinho (8,5%), Cedro (7,1%), Mandioqueira (8,9%), Paineira (16,7%) e Imbiruçu (8,3%). A retração tangencial do BLC foi consideravelmente menor do que aquela de todas as madeiras relacionadas na tabela de classificação do IPT (madeiras leves).

Na norma ASTM D-1037 prevê-se, para o estudo de painéis à base de madeira, a realização do ensaio de inchamento (2 h e 24 h). Porém, na norma NBR 6230 (MB-26), adotada anteriormente para o estudo das madeiras, relata-se apenas os resultados obtidos no ensaio de retração. Desse modo, observou-se que, para o BLC, a retração radial foi de 4,2%.

O inchamento de corpos-de-prova do bambu *D. giganteus* foi maior tanto na direção radial como na tangencial, quando comparado ao *B. vulgaris*. A explicação para tais diferenças, em relação à espécie de bambu, deve-se ao processo final de moldagem do BLC, pois, apesar do adesivo Cascophen ser mais adequado ao intemperismo, não pode haver fissuras na direção tangencial, pois nestes locais há tendência de acúmulo de água, podendo provocar deformação nas peças.

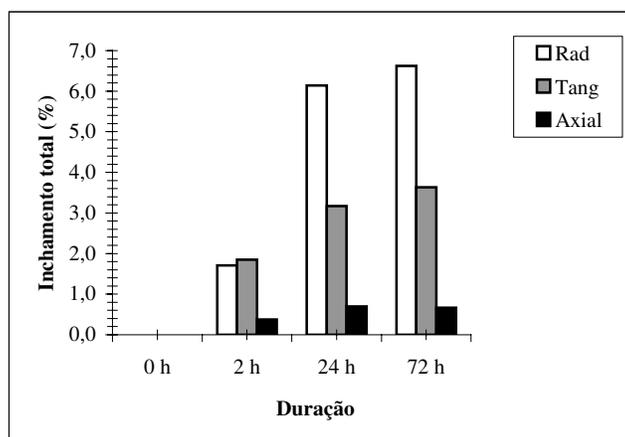


Figura 27 - Inchamento total do BLC (*D. giganteus*, tratamento químico, adesivo Cascophen)

Na figura 28 observa-se que, embora nos corpos-de-prova nos quais se utilizou o bambu *D. giganteus* tenha ocorrido maior inchamento nas direções radial e tangencial, na retração (direção tangencial), o valor mostrou-se inferior ao de todas as espécies de madeiras consideradas leves pela tabela publicada pelo IPT.

No presente trabalho foi constatado que uma das formas de atenuar o inchamento para o BLC é utilizar produto impermeabilizante na superfície acabada, embora estes resultados não estejam descritos.

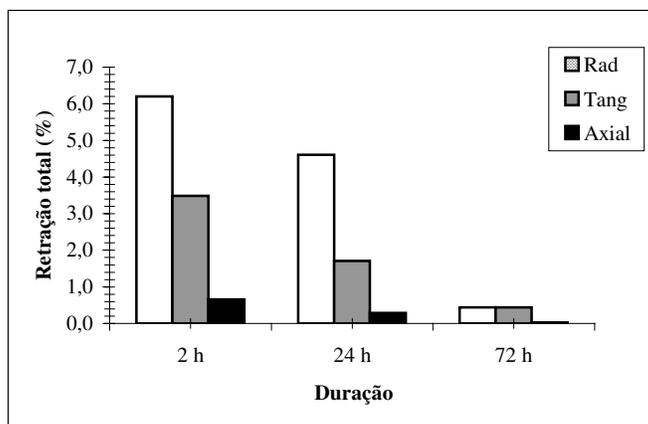


Figura 28 – Retração total do BLC (*D. giganteus*, tratamento químico, adesivo Cascophen)

Observou-se heterogeneidade quanto ao uso do adesivo Cascamite, provocando deformações em todos os corpos-de-prova. Apesar deste adesivo não ser indicado para suportar o intemperismo, apenas um corpo-de-prova descolou após 72 h de saturação.

Para a realização das medições foi utilizado um paquímetro digital; devido à sensibilidade deste equipamento ocorreram algumas diferenças nas medições e para evitar tal ocorrência torna-se necessário que o corpo-de-prova fique preso a um dispositivo, para obter-se medidas precisas e sempre na mesma posição.

4.4 – Variação dimensional do contraplacado de bambu (CPB)

A tabela 10 e a figura 29 mostram os valores médios encontrados para o contraplacado. Os resultados do inchamento nas direções radial, tangencial e axial foram diferentes daqueles observados para o BLC. Primeiramente, este ensaio foi realizado com o material confeccionado com o adesivo Cascamite; os resultados comparados ao mesmo adesivo para o BLC mostram uma porcentagem mais elevada de inchamento.

Tabela 10. Inchamento para o Contraplacado, espécie *D. giganteus*, tratamento químico, com adesivo Cascamite. Absorção (%) em massa.

CBGQMIT	Inch		
	2 h	24 h	72 h
Rad	0,42	1,96	4,01
Tang	0,14	0,58	0,64
Axial	0,23	0,16	0,37
Abs (%) *	9,61	30,76	49,81

A figura 29 mostra o gráfico obtido pelas médias da tabela 10.

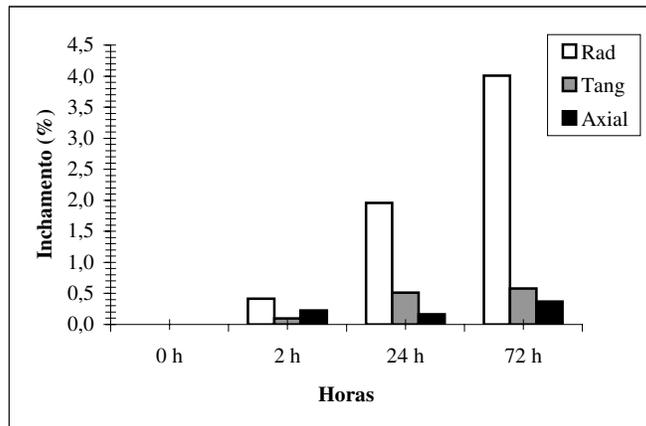


Figura 29 – Inchamento total para o Contraplacado (CPB)

A figura 30 mostra a retração total obtidas por médias utilizando-se o adesivo Cascamite; estes valores são inferiores quando comparados às espécies de madeiras, classificadas como leves pela tabela do IPT.

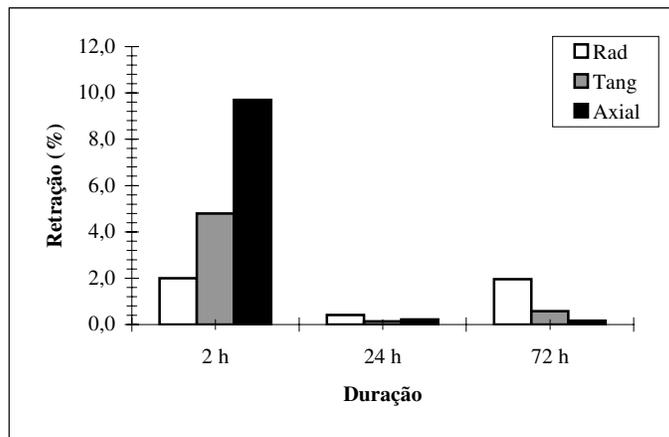


Figura 30 – Retração total para o Contraplacado (CPB)

Apesar do adesivo Cascamite não ser recomendado para suportar o intemperismo, não ocorreu descolamento das peças e sim rachaduras. Após a retirada da estufa, observou-se a escamação de partículas do adesivo após o ciclo de saturação em água e de secagem em estufa, conforme pode-se verificar na figura 31.



Figura 31 - Contraplacado (CPB) com adesivo Cascamite, após saturação em água e secagem em estufa

4.5 - Cisalhamento na superfície colada para o BLC

Os corpos-de-prova receberam nomenclatura conforme tabela 11.

Tabela 11. Nomenclatura tipo de bambu, tratamento e adesivo utilizado

BGAcasco	Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> , tratamento água e adesivo Cascamite
BGAcasco	Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> , tratamento água e adesivo Cascophen
BGQcasm	Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> , tratamento químico e adesivo Cascamite
BGQcasco	Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> , tratamento químico e adesivo Cascophen
BVAcasm	<i>Bambusa vulgaris</i> tratamento água e adesivo Cascamite
BVAcasco	<i>Bambusa vulgaris</i> tratamento água e adesivo Cascophen
BVQcasm	<i>Bambusa vulgaris</i> tratamento químico e adesivo Cascamite
BVQcasco	<i>Bambusa vulgaris</i> tratamento químico e adesivo Cascamite

Os melhores resultados foram obtidos para os corpos-de-prova relativos aos seguintes tratamentos:

- *Bambusa vulgaris*, submetido ao tratamento químico e utilizando-se o adesivo Cascophen;
- *Dendrocalamus giganteus*, tratamento em água e utilizando-se o adesivo Cascamite;
- *Dendrocalamus giganteus*, tratamento químico e utilizando-se o adesivo Cascophen.

Na figura 32 verifica-se que, para os tratamentos supracitados, a tensão de ruptura foi de 32,40 MPa, 25,76 MPa e 24,25 MPa, respectivamente.

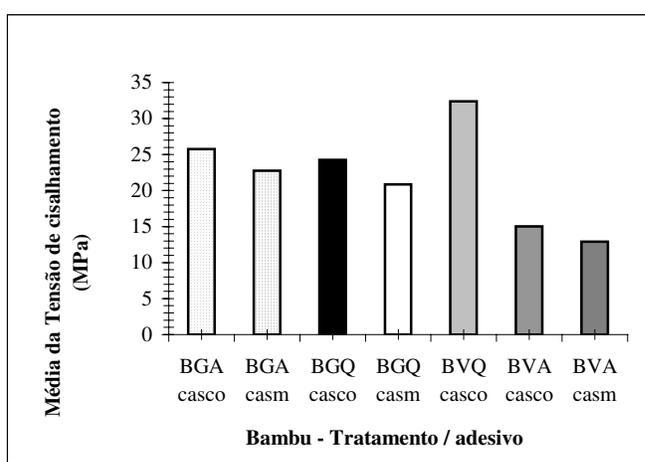


Figura 32 - Médias da tensão de cisalhamento na superfície colada para o BLC

Analisando-se individualmente os corpos-de-prova observou-se que a menor tensão obtida foi quando da utilização do *B. vulgaris*, tratamento em água e o adesivo Cascamite, com tensão média de cisalhamento de 12,89 MPa. Mesmo esse resultado superou aqueles encontrados por CARRASCO et al. (1995), nos quais os autores utilizaram o mesmo tipo de adesivo, porém com a espécie *D. giganteus*, e com as mesmas quantidades de lâminas, tendo obtido uma média de 8,69 MPa.

Quando comparados os resultados desta pesquisa com aqueles encontrados por GONÇALVES et al. (2002), da ordem de 10,0 MPa, embora seja desconhecida a forma de confecção do corpo-de-prova, observou-se que o valor médio encontrado nesta pesquisa foi cerca de três vezes superior.

Analisando-se individualmente cada corpo-de-prova (total de 24 exemplares), 8 deles foram descartados para o cômputo da média. Dois desses corpos-de-prova referiam-se aos tratamentos do *B. vulgaris* e uso do adesivo Cascophen. Observou-se que, aqueles que receberam a legenda BVQcasco, apresentaram rompimento na linha do adesivo, rompimento esse provocado pelo acúmulo de adesivo, pela irregularidade de uma lâmina e pelo fato desse adesivo apresentar pouca viscosidade. Seis deles, com a legenda BGQcasm e BVAcasm, apresentaram somente esmagamento, conforme as figuras 33 e 34. Os demais corpos-de-prova comprovaram a eficiência da ligação bambu-adesivo ocorrendo a ruptura sempre no bambu.



Figura 33 - Corpo-de-prova *D. giganteus*, tratamento água com adesivo Cascamite



Figura 34 - Corpo-de-prova *B. vulgaris*, tratamento químico com adesivo Cascophen

4.6 - Cisalhamento do bambu no BLC

Os resultados obtidos são apresentados na figura 35, não podendo ser comparados aos trabalhos já citados, dos autores CARRASCO et al. (1995) e GONÇALVES et al. (2002), pois os mesmos não realizaram este tipo de ensaio em seus experimentos; desta forma os resultados deste trabalho foram comparados àqueles referentes às madeiras.

Os valores médios obtidos (20,0 MPa) foram superiores aos resultados publicados pela NBR7190:1997, em colaboração com o Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, para espécies de madeiras, como, por exemplo: Ipê (13,1 MPa), Maçaranduba (14,9 MPa), Guarucaia (15,5 MPa) e Jatobá (15,7 MPa).

Estes resultados comprovam que o BLC pode ser um material adequado para a fabricação de cavilhas, podendo substituir várias espécies de madeiras que estão disponíveis no mercado.

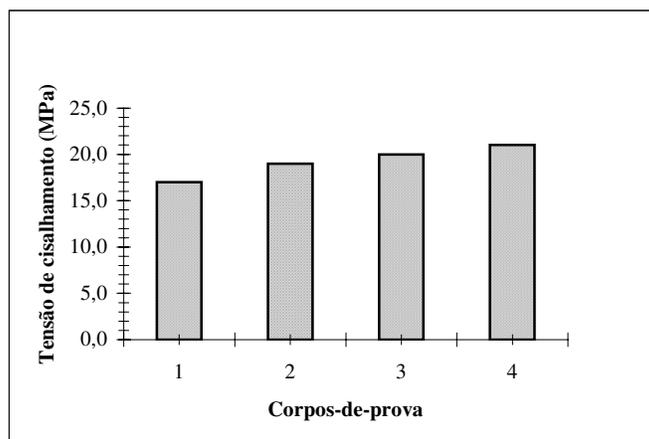


Figura 35 - Resultados da tensão de cisalhamento no bambu *D. giganteus*

4.7 - Cisalhamento na superfície colada para o Contraplacado

Os resultados obtidos para o Contraplacado (CPB) de bambu, embora não tenha sido encontrada informação em literatura para comparação na mesma condição de confecção do material desenvolvido, foram comparados aos resultados encontrados para o BLC, citados por CARRASCO et al. (1995) e GONÇALVES et al. (2002), com valores de 8,69 MPa e 10 MPa, respectivamente, mostrando-se inferiores aos resultados para o CPB. A figura 36 mostra que a tensão média mais elevada foi alcançada pelos corpos-de-prova confeccionados com *B. vulgaris*, utilizando-se o adesivo Cascamite. Cabe ressaltar que foi necessário descartar um corpo-de-prova devido ao fato de haver ocorrido ruptura no adesivo. Embora os corpos-de-prova utilizando o adesivo Cascophen apresentassem resultados inferiores, em média, individualmente obteve-se resultados 45,55 MPa e 46,90 MPa.

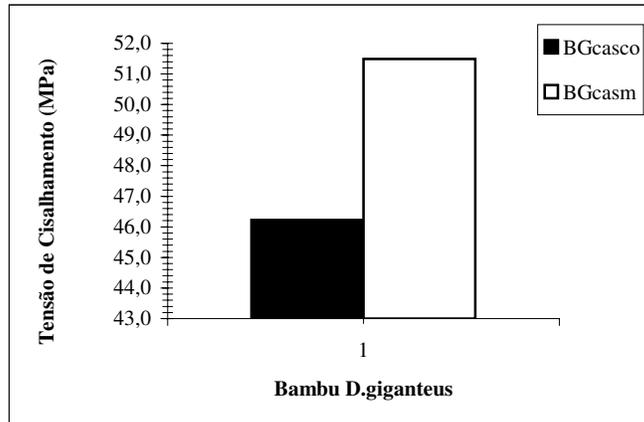


Figura 36. Tensão média de cisalhamento na lâmina de colagem no Contraplacado

Legenda: BGcasco - Contraplacado *Dendrocalamus giganteus*, adesivo Cascophen.

BGcasm– Contraplacado *Dendrocalamus giganteus*, adesivo Cascamite.

Os corpos-de-prova de maior heterogeneidade, no momento do ensaio de cisalhamento, ocorreram com a utilização do adesivo Cascamite. Este adesivo possui maior viscosidade, sendo ideal para a fabricação do CPB, pois permite maior aproveitamento das peças irregulares; porém, não suporta grandes esforços na lâmina de colagem. O CPB confeccionado com o adesivo Cascophen, e lâminas retilíneas, tornou o material mais resistente à solicitação de esforços, tendo ocorrido esmagamento em apenas um corpo-de-prova; para os demais, o rompimento ocorreu no bambu.

4.8 - Ensaio de flexão estática

4.8.1-BLC

No momento do ensaio foi observado em todos os corpos-de-prova que, quando a célula de carga começava a atingir determinado valor, ocorria o início de uma pequena deformação, até atingir-se o momento máximo, havendo então a ruptura.

Na figura 37 apresenta-se o resultado do módulo de ruptura (MOR) dos diferentes materiais ensaiados.

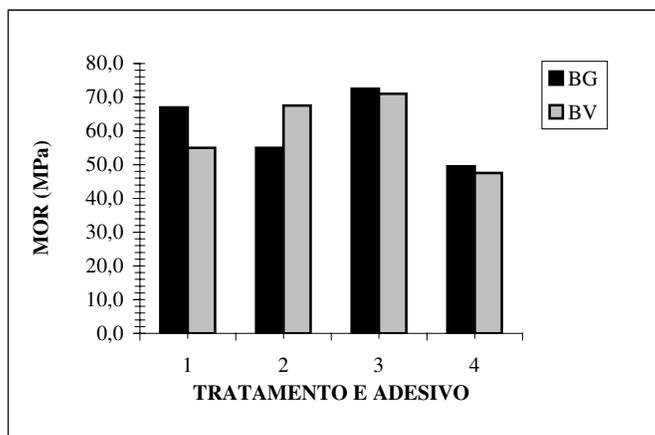


Figura 37 - Tensão (MOR dados em MPa) e tipos de bambu

Legenda:

- 1 – Tratamento em água utilizando o adesivo Cascamite;
- 2 – Tratamento em água utilizando o adesivo Cascophen;
- 3 - Tratamento com produto químico utilizando o adesivo Cascamite;
- 4 - Tratamento com produto químico utilizando o adesivo Cascophen.

O laminado com bambu *D. giganteus*, utilizando-se o adesivo Cascamite, forneceu a maior média para o MOR (72,57 MPa), sendo seguido pelo *B. vulgaris*, com o mesmo adesivo (média de 71,04 MPa). Provavelmente estes valores estão relacionados à força aplicada no momento da prensagem do material, e ao fato de que para os primeiros corpos-de-prova confeccionados com o adesivo Cascophen, não foi feita diluição em álcool. O fabricante informou que para as madeiras consideradas duras torna-se necessário a diluição em 10 % de álcool, para melhorar a penetração do adesivo.

Apesar de os corpos-de-prova nos quais se utilizou o adesivo Cascamite apresentarem as médias mais elevadas, individualmente outros, utilizando-se o adesivo Cascophen, forneceram valores superiores ou iguais àqueles obtidos com o outro tipo de adesivo. Foi o caso dos corpos-de-prova BVAcasco 2, com tensão de 78,94 MPa, e BGQcasco 2, com tensão de 69,16 MPa. A figura 38 mostra o laminado no momento do ensaio de flexão com o corpo-de-prova de maior tensão de ruptura; a figura 39 mostra o exemplo de menor tensão de ruptura, com o corpo-de-prova confeccionado com o *B. vulgaris*, utilizando-se o adesivo Cascophen.



Figura 38 - BLC. Corpo-de-prova de maior MOR



Figura 39 - Corpo-de-prova de menor MOR

Observa-se na figura 39 o descolamento de lâminas, quando da utilização do adesivo Cascophen. Este fato também foi observado por WETHGAVIVORN et al. (2002), realizando ensaio com o bambu *Phyllostachys sp*, com o mesmo número de lâminas e mesmo tipo de colagem, embora não tenham sido relatados o tipo de adesivo nem o tipo de prensagem adotado. Esta ocorrência, como é o caso observado na figura analisada, deve-se ao acúmulo de adesivo em uma lâmina com pequena curvatura, e, conseqüentemente, ao fato de o bambu e o adesivo trabalharem de forma diferente.

Analisando-se a tabela 12 verifica-se que os valores encontrados por WETHGAVIVORN et al. (2002) foram superiores àqueles obtidos nesta pesquisa para o laminado colado de bambu sem emendas. Ao analisar as médias por grupo de corpos-de-prova

(bambu e adesivo) desconsiderando-se o tipo de tratamento, os resultados obtidos com o BLC neste presente trabalho, quando comparados aos encontrados por BERALDO (2003), nos ensaios de flexão em taliscas de bambu *D. giganteus*, foram superiores para amostras com a espécie *B. vulgaris* e inferiores ao BLC confeccionado com *D. giganteus*.

Tabela 12. Comparação do MOR para laminado colado sem emenda e taliscas de bambu.

Material/Espécie	BERALDO (2003)	WETHGAVIVORN et al. (2002)	RIVERO
Talisca	67 MPa	X	X
BLC <i>D. giganteus</i>	X	X	70 MPa
BLC <i>B. vulgaris</i>	X	X	63 MPa
BLC <i>Phyllostachys</i>	X	94 MPa	X

4.8.1.2 - Análise carga X flecha

Nas figuras 40, 41, 42 e 43 verifica-se o comportamento do BLC submetido ao ensaio de flexão. Observa-se que, à medida que a força foi aplicada, até atingir um limite máximo, as fibras começaram a deformar-se, ocorrendo o rompimento da lâmina do bambu. A seguir, reiniciava-se o processo quando a próxima lâmina era, então, solicitada.

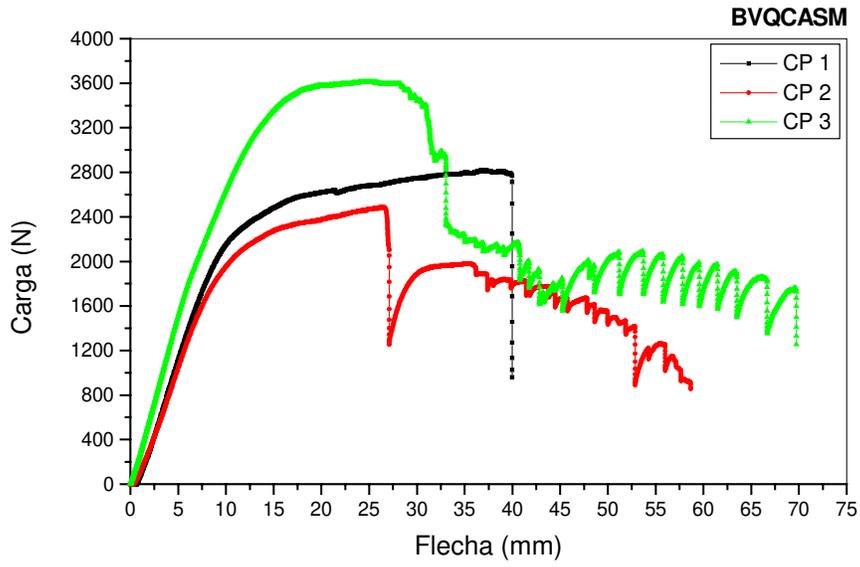


Figura.40 - Carga X flecha, dos corpos-de-prova com *B.vulgaris*, tratamento químico com adesivo Cascamite

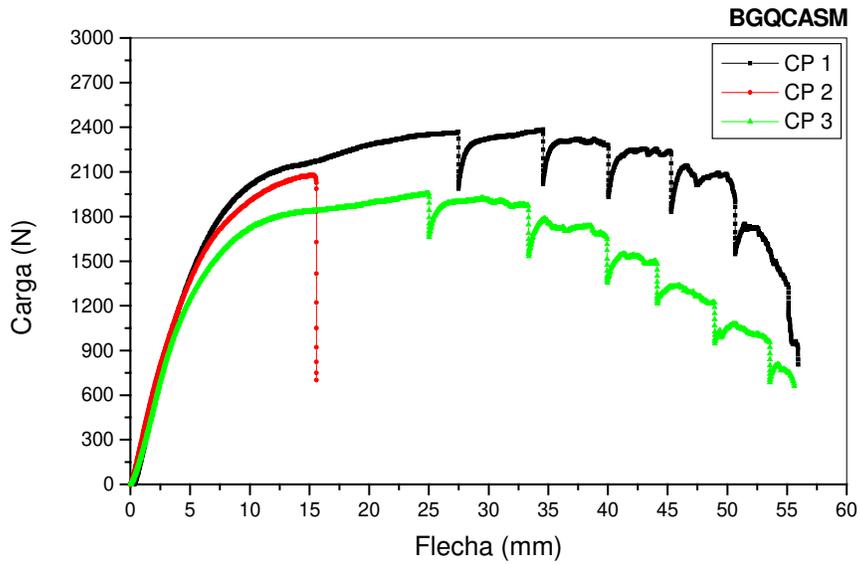


Figura 41 - Carga X flecha, dos corpos-de-prova *D. giganteus*, tratamento em água com adesivo Cascamite

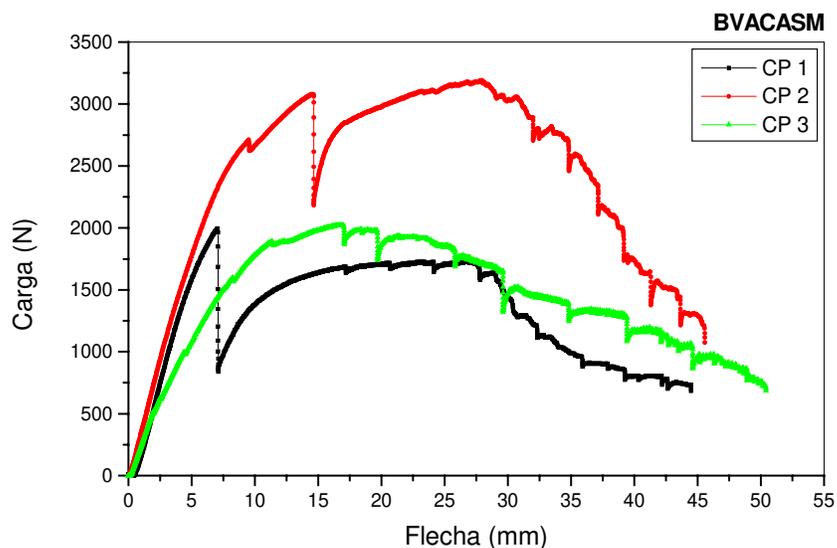


Figura 42 - Carga X flecha, dos corpos-de-prova do *B. vulgaris*, tratamento em água com adesivo Cascamite

Observa-se que na figura 42 os três corpos-de-prova apresentaram um comportamento similar, evidenciando-se a diferença do primeiro, que apresentou descolamento de uma lâmina sem deformar-se totalmente, suportando, a seguir, nova solicitação.

4.8.1.3 - Energia específica

A figura 43 apresenta as curvas de energia específica para o laminado de bambu.

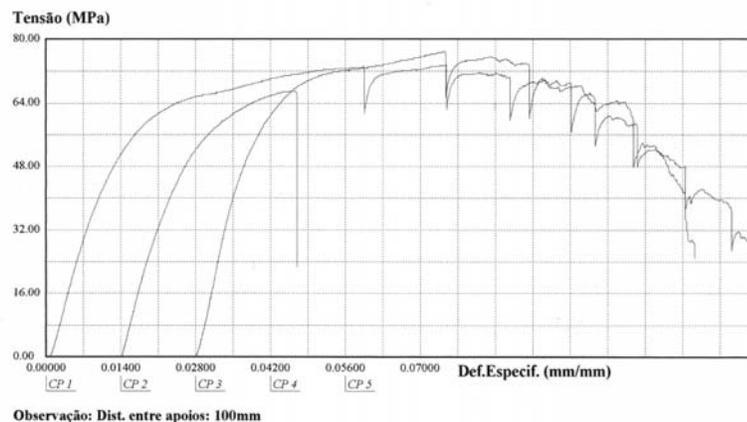


Figura 43 - Tensão versus deformação específica

É interessante destacar a grande capacidade de deformação do bambu laminado com relação à energia específica (variando de 139600 a 184500 J/m²), conforme mostra o gráfico do comportamento dos corpos-de-prova 1, 2 e 3 do bambu *D. giganteus*. Este tipo de curva confirma que o bambu laminado colado rompe-se lentamente, fator importante para a segurança em estruturas, diferente de outros materiais, tais como o concreto, para o qual a ruptura é brusca.

4.8.1.4 - MOE

Os resultados apresentados na figura 44 foram inferiores àqueles encontrados por CARRASCO et al. (1995) e GONÇALVES et al. (2002), para bambu laminado colado. Deve-se ressaltar que essas diferenças de valores ocorreram, provavelmente, porque os autores citados utilizaram peças com colagem diferente e com maior espessura.

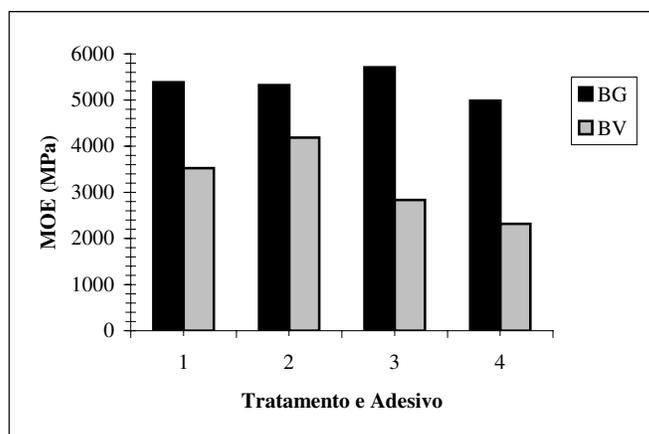


Figura 44 - MOE (MPa) x tipo de Bambu e Adesivo

BERALDO (2003), em ensaios com taliscas de bambu *D. giganteus*, com a casca voltada para a parte superior (área de contato com o cutelo) obteve valores superiores, conforme verifica-se na tabela 14.

Tabela 13. Comparação de MOE (MPa) para colmo de bambu, taliscas e BLC

MAT.	CARRASCO et al. (1995)	BERALDO (2003)	LIMA JR. et al. (1995)	RIVERO (2003)	WETHGAVIVORN et al. (2002)
BLC <i>D.giganteus</i>	17949	X	X	5713	X
BLC <i>Phyllostachys</i>	X	X	X	X	11800
Talisco D. <i>giganteus</i>	X	12468	X	X	X
Colmo <i>D.giganteus</i>	X	X	11000	X	X
Colmo <i>B. vulgaris</i>	X	X	9000	X	X

4.8.1.5 - Limite de proporcionalidade

A figura 45 mostra os valores obtidos para o limite de proporcionalidade, sendo os melhores resultados obtidos para o *B. vulgaris*, tratamento químico, utilizando-se o adesivo Cascamite, seguido pelo bambu *D. giganteus*, tratamento químico, com adesivo Cascamite.

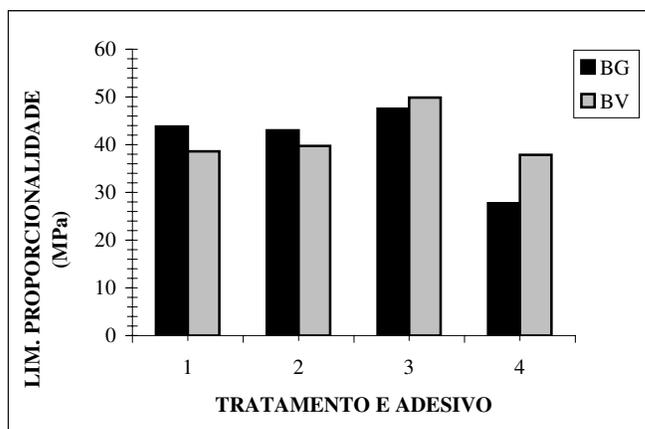


Figura 45 - Limite de Proporcionalidade, para tipo de bambu e adesivo

Legenda:

- 1 – Tratamento em água utilizando o adesivo Cascamite;
- 2 – Tratamento em água utilizando o adesivo Cascophen;
- 3 - Tratamento com produto químico utilizando o adesivo Cascamite;
- 4 - Tratamento com produto químico utilizando o adesivo Cascophen.

A tabela 14 apresenta uma comparação entre o limite de proporcionalidade encontrado para o BLC confeccionado com lâminas sem emendas, com aquele apresentado na pesquisa de WETHGAVIVORN et al. (2002), com emendas, similares à confecção dos corpos-de-prova para ensaio de compressão na segunda etapa. Os valores para tabela comparativa foram retirados das médias dos valores apresentados na figura 48, desconsiderando-se o tipo de tratamento, porém considerando os fatores bambu e adesivo.

Tabela 14 Comparação entre o Limite de Proporcionalidade (MPa) para BLC com juntas e sem juntas

MATERIAL	WETHGAVIVORN et al. (2002)	RIVERO (2003)
BLC s/ junta, <i>D.giganteus</i>	X	46
BLC s/ junta	47	X
BLC c/ junta	32	X

Em análises estatísticas dos resultados do módulo elástico (MOE), tensão de ruptura (MOR) e limite de proporcionalidade, a 95% de probabilidade, aplicados ao laminado colado de bambu, o teste de Tukey mostrou que os bambus utilizados *D. giganteus* e *B. vulgaris* foram diferentes, e os adesivos Cascophen e Cascamite também foram diferentes; porém os tratamentos utilizados água e químico, não foram diferentes.

Os valores encontrados no ensaio de flexão, tanto para o limite de proporcionalidade como para a tensão de ruptura (MOR), foram próximos dos valores encontrados pelos autores

WETHGAVIVORN et al. (2002). Apesar de ser o mesmo tipo de laminação das peças e dimensão dos corpos-de-prova, há três fatores que devem ser levados em consideração:

- 1- Os bambus *Phyllostachys sp* apresentam anatomia diferente das espécies estudadas, possuindo paredes menos espessas e maior concentração de fibras por unidade de espessura da peça, aproveitando-se melhor todo o colmo para a fabricação de BLC. Tanto para o *D. giganteus* como no *B. vulgaris* a maior concentração de fibras ocorre do meio para a face externa próxima à casca, parte de maior resistência. Esta afirmativa é comprovada nos resultados apresentados por BERALDO (2003) nas tabelas comparativas. O autor encontrou valores superiores para o módulo elástico em taliscas ensaiadas com casca na parte superior voltada para a direção de aplicação da carga.
- 2- Apesar de não se ter informação a respeito do adesivo utilizado, pode-se afirmar que, apesar de ocorrer descolamento em algumas lâminas, segundo relataram os autores, o adesivo na maioria dos corpos-de-prova atuou como um só bloco (adesivo e bambu). Para os adesivos utilizados nesta pesquisa, embora o Cascophen seja utilizado para a fabricação de MLC (madeira laminada colada), no caso do bambu, por apresentar irregularidades em algumas lâminas, e o adesivo apresentar pouca viscosidade, o acúmulo de adesivo e a falta de penetração no bambu foram causadores de heterogeneidade no material.
- 3- Com relação aos resultados obtidos por CARRASCO et al. (1995) e GONÇALVES et al. (2002), para a flexão do BLC, comprovou-se que, quanto maior for o número de lâminas utilizadas para a confecção do BLC, maior será a resistência à flexão, pois os autores, para a confecção de seus corpos-de-prova, utilizaram grandes blocos formados por várias lâminas de bambu.

4.8.2 - Flexão estática em Contraplacado de bambu (CPB)

O resultado do Contraplacado submetido à flexão estática forneceu valores muito inferiores àqueles encontrados para o BLC. No entanto, não se pode compará-los diretamente, pois a forma de colagem e a espessura das camadas foram diferentes.

Para a tensão de ruptura (MOR), os corpos-de-prova confeccionados com o adesivo Cascamite forneceram as melhores médias, conforme apresentado na figura 46. Este fato deveu-se à forma de colagem das lâminas com este adesivo.

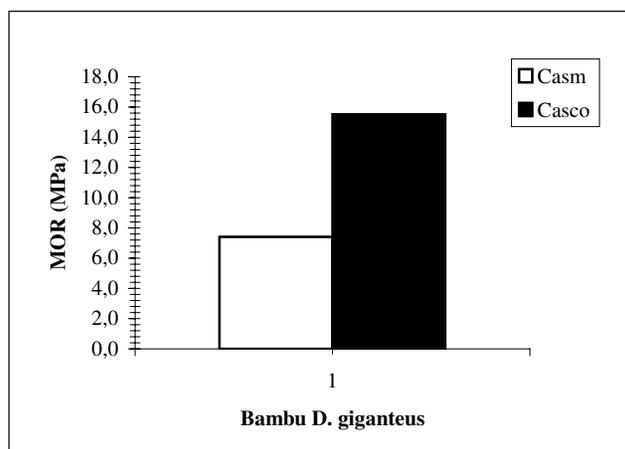


Figura 46 - MOR em função do adesivo utilizado

Para o módulo elástico (MOE), analisando-se a figura 47, observa-se que os maiores valores médios ocorreram com os corpos-de-prova utilizando adesivo Cascophen. A forma de colagem das lâminas e o tipo de adesivo influenciaram os resultados. Com lâminas retilíneas verifica-se uma melhor penetração do adesivo, evitando-se o acúmulo do material entre as lâminas.

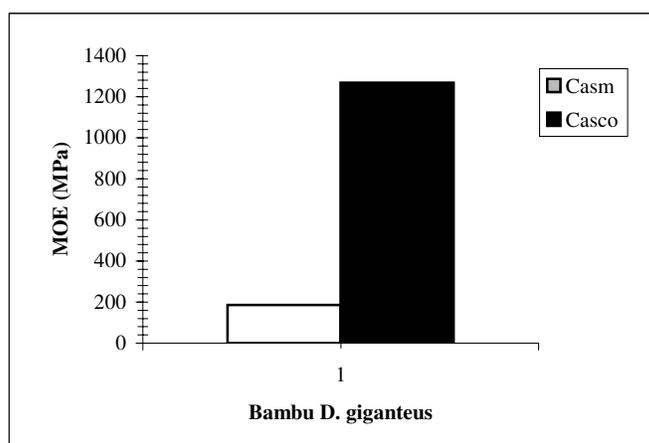


Figura 47 - MOE do contraplacado

A melhor média para o limite de proporcionalidade ocorreu também com o contraplacado utilizando-se o adesivo Cascophen, pelos mesmos fatos retrocitados, relatados para o MOE.

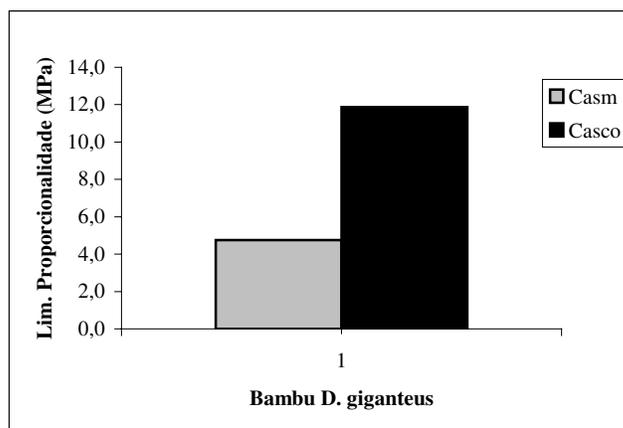


Figura 48 - Limite de proporcionalidade em função do adesivo utilizado

A análise estatística realizada para os adesivos, utilizando os teste de Tukey, com 95% de probabilidade, comprovou que haver diferença entre os adesivos no valor alcançado pela tensão no limite de proporcionalidade, módulo elástico e tensão de ruptura.

4.8.2.1 – Tipos de ruptura para o CPB

Observando-se as figuras 49 e 50, nota-se que, na parte superior, houve apenas esmagamento sem ocorrer descolamento das lâminas. Na figura 49 pode-se constatar o mesmo fato ocorrido com o BLC, ou seja, o descolamento das lâminas quando do uso do adesivo Cascophen, que, neste caso, devido à particularidade de confecção do material, torna-se propício para o acúmulo do adesivo. O adesivo Cascamite preencheu melhor as irregularidades das lâminas, propiciando seu melhor aproveitamento.

O fato de os valores serem inferiores àqueles do BLC pode ser explicado pelo fato de que este material apresenta menor espessura e, como já foi relatado anteriormente, o número de lâminas (espessura) está diretamente ligada à maior resistência à flexão.



Figura 49 - Contraplacado *B. giganteus* com adesivo Cascophen



Figura 50 - Contraplacado *B. giganteus* com adesivo Cascamite

Embora não se possa comparar diretamente os resultados do contraplacado, pela diferença da forma de obtenção do material, a tabela 15 mostra os valores obtidos para o BLC e taliscas de bambu *D. giganteus*.

Tabela 15. Valores obtidos para os materiais: Taliscas, BLC e Contraplacado de bambu

BAMBU	TRAT	MOR (MPa)	MOE (MPa)
TALISCA	QUIM.	66,62	12468
BLC	QUIM.	72,57	5713
CPB	QUIM.	15,52	1268

4.9 - Ensaio de compressão simples

4.9.1 - BLC (Bambu Laminado Colado)

Inicialmente foram ensaiados corpos-de-prova (dimensões nominais de 2,5 cm x 3 cm x 5 cm), retirados das amostras utilizadas no ensaio de flexão estática, desprezando-se a porção central da mesma. Os melhores resultados foram apresentados pelos corpos-de-prova

confeccionado com o *B. vulgaris*, tratado em água, utilizando-se os adesivos Cascophen (média 46,25 MPa) e Cascamite (média 47,25 MPa), conforme apresentado na tabela 16.

Os resultados não puderam ser comparados àqueles obtidos por GONÇALVES et al. (2002), da ordem de 55 MPa, pois embora esses autores tenham utilizado o bambu *D. giganteus*, não citaram o tipo de adesivo, a forma de colagem e a quantidade de lâminas utilizadas.

Tabela 16. Resultados de compressão simples para o BLC

CP	Bambu	Tratamento	Adesivo	Dens (g/cm ³)	Tensão (MPa)
Média	DG	Água	Cascoph	0,54	37,14
DP				0,00	1,04
CV				0,68	2,79
Média	DG	Químico	Cascoph	0,50	34,29
DP				0,01	0,99
CV				2,31	2,89
Média	DG	Água	Cascamite	0,51	33,87
DP				0,01	3,96
CV				1,57	11,69
Média	DG	Químico	Cascamite	0,53	35,08
DP				0,00	3,57
CV				0,77	10,17
Média	BV	Água	Cascoph	0,62	46,25
DP				0,01	1,82
CV				1,35	3,94
Média	BV	Químico	Cascoph	0,48	33,44
DP				0,02	1,28
CV				3,20	3,82
Média	BV	Água	Cascamite	0,64	47,25
DP				0,02	3,11
CV				2,76	6,57
Média	BV	Químico	Cascamite	0,58	38,75
DP				0,03	4,20
CV				5,45	10,83

Verifica-se que as maiores densidades de massa ocorreram para os corpos-de-prova que forneceram as maiores médias em tensão. Conseqüentemente pode-se afirmar que, quanto maior a densidade, maior será a tensão. Estes valores (0,58 g/cm³ a 0,64 g/cm³) são superiores às densidades das madeiras Pinho (0,56 g/cm³), Cerejeira (0,60 g/cm³) e Mogno (0,63 g/cm³), e, quando comparados àqueles encontrados por GONÇALVES et al. (2002), densidade

variando de 0,57 a 0,75 g/cm³, encontram-se na média, apesar da espessura e colagem das lâminas serem diferentes.

4.9.2 - Tensão no limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade

A densidade de massa do material para este ensaio variou de 0,58 g/cm³ a 0,79 g/cm³, valores superiores àqueles obtidos por GONÇALVES et al. (2002), variando de 0,57 g/cm³ a 0,75 g/cm³, sendo inferior à densidade de colmos de bambu gigante, segundo GHAVAMI (1992), da ordem de 0,80 g/cm³. A densidade de massa é função da espessura do material, da quantidade de casca deixada no colmo ou lâmina, e do tipo de adesivo utilizado.

A figura 51 apresenta o diagrama da deformação específica versus tensão, para o corpo-de-prova 4, que obteve a tensão de ruptura mais elevada (da ordem de 80 MPa).

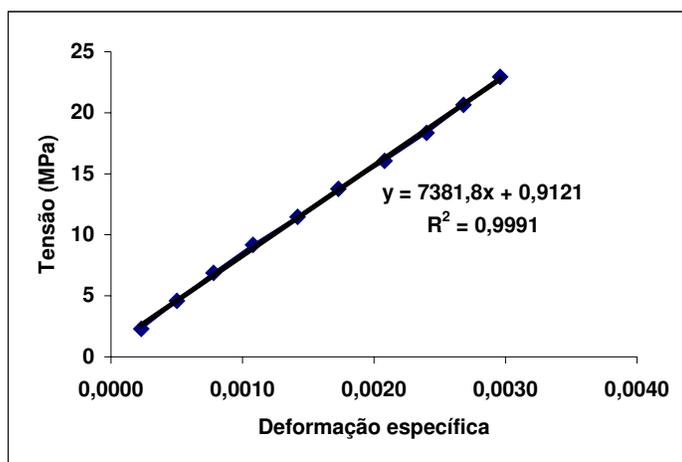


Figura 51 - Curva Tensão x Deformação Específica

A tabela 17 mostra os corpos-de-prova individuais, com análise de tensão no limite de proporcionalidade, tensão de ruptura, módulo elástico e módulo dinâmico (por ultra-som).

Tabela 17. Resultados da tensão no limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade para o BLC

CORPO-DE-PROVA	TENSÃO LIMITE PROP. (MPa)	TENSÃO RUPTURA (MPa)	MODULO ELAST. (MPa)	MÓDULO DINÂMICO (MPa)
1	39,45	80,12	10222	22836
2	34,54	67,20	10909	22400
3	32,12	61,26	7821	18000
4	43,54	82,11	12727	22679
5	43,97	74,66	10578	21755
6	53,58	76,54	16232	22003
MÉDIA	41,20	73,65	11415	21612
DP	7,70	7,97	2836	1815
CV(%)	18,68	10,83	24,85	8,40
M - 2DP	25,81	57,70	5742	17981
M + 2DP	56,60	89,60	17087	25242

Comparando os valores da tabela 18, com as madeiras brasileiras consideradas leves, o Limite de proporcionalidade mostrou-se superior ao das seguintes espécies: Mogno (32,5 MPa), *Pinus caribaea* (12,2 MPa), Oiticica (30,7 MPa) e *Pinus elliottii* (14,0 MPa).

4.10 - Módulo elástico

Os valores do módulo elástico apresentaram-se inferiores ao módulo dinâmico, da mesma forma do que ocorre com as madeiras de um modo geral. Para o BLC, além da heterogeneidade (diferentes concentração de fibras) do bambu, o adesivo contribuiu artificialmente para esta diferença.

O valor médio obtido (11415 MPa) para o módulo de elasticidade, foi inferior àquele obtido por CARRASCO et al. (1995), da ordem de 18499 MPa. Os autores utilizaram para a

confeção de seus corpos-de-prova a mesma espécie de bambu, o mesmo tipo de adesivo embora não se saiba qual foi a densidade superficial de aplicação de adesivo utilizado, e a forma de colagem do laminado. Além disso, os autores adotaram um maior número de lâminas. O resultado obtido no trabalho destes autores pode estar diretamente relacionado com a menor retirada de material das camadas externas (mais densas).

As figuras 52 (A e B) mostram os corpos-de-prova após rompimento, podendo-se observar que nas áreas de juntas ocorreu acúmulo do adesivo, criando regiões de maior heterogeneidade.

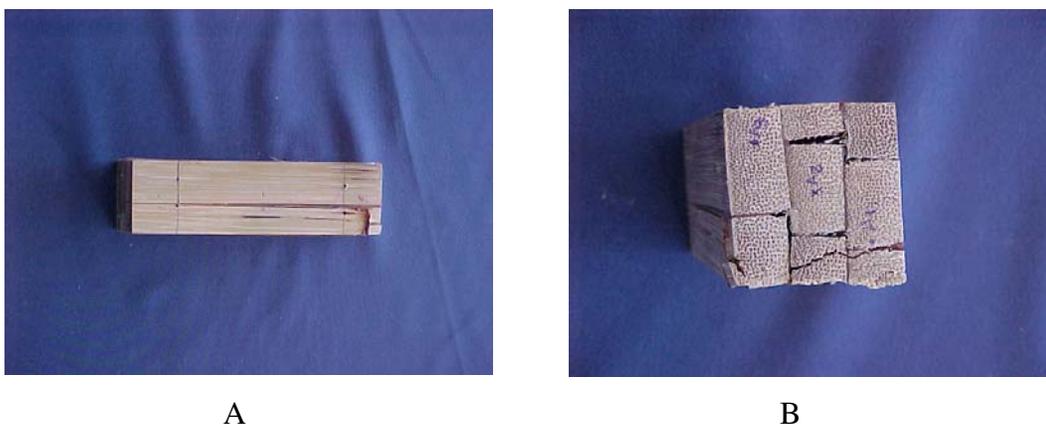


Figura 52 - Corpo-de-prova, vista lateral e vista de topo

4.11 - Ensaio de compressão simples para o Contraplacado

Para o contraplacado de bambu (tabela 18), os melhores resultados foram obtidos utilizando-se o adesivo Cascophen (tensão média de 22,27 MPa).

O valor da densidade de massa obtido foi inferior ao do laminado colado, com média de 0,55 g/cm³, porém, superior ao das madeiras Guapuruvú (*Schyzolobium parahybum*), com 0,41 g/cm³ e Kiri (*Pawlonia* sp), com 0,34g/cm³.

Tabela 18. Tensão e densidade média do Contraplacado com bambu *D. giganteus*, adesivos Cascamite e Cascophen

CP	Bambu	Tratamento	Adesivo	dens (g/cm ³)	tensão (MPa)
Média	DG	Químico	Cascophen	0,49	22,27
DP				0,03	2,00
CV				5,82	8,99
Média	DG	Químico	Cascamite	0,49	9,67
DP				0,02	0,93
CV				4,46	9,58

A figura 53 mostra os resultados individuais dos corpos-de-prova para o Contraplacado com os dois adesivos; verifica-se a maior tensão com a utilização do adesivo Cascophen.

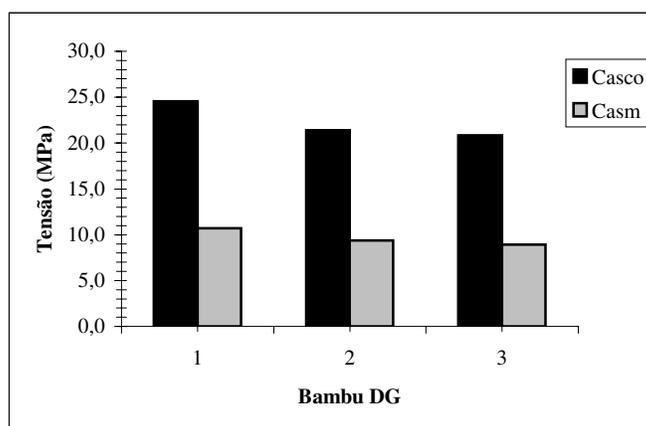


Figura 53 - Tensão do CPB para a utilização dos adesivos

4.12 - Flexão dinâmica ao choque (impacto)

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Valores obtidos no ensaio de flexão dinâmica ao choque

Corpo de Prova	Coef. de Resiliência	Cota Dinâmica	Energia absorvida (kgf*m)	Densidade de Massa (g/cm ³)	Teor de umidade (%)
	K	Cd	W		
1	0,26	0,81	3,95	0,56	10,40
2	0,19	0,58	2,85	0,57	10,21
3	0,17	0,59	2,55	0,53	10,53
4	0,25	0,84	3,80	0,54	10,38
5	0,29	0,86	4,20	0,58	10,44
6	0,29	0,79	4,25	0,60	10,36
Média	0,24	0,75	3,60	0,56	10,39
DP	0,05	0,13	0,72	0,03	0,11
CV (%)	21,54	17,12	20,07	4,62	1,01
M-2DVP	0,14	0,49	2,15	0,51	10,18
M+2DVP	0,34	1,00	5,04	0,62	10,60

4.12.1 - Teor de umidade

O teor de umidade dos corpos-de-prova situou-se dentro da média de resultados obtidos para pisos de laminado colado de bambu (de 8,0% a 13,0%), conforme relatado por CNBRC (2001), citado por GONÇALVES et al. (2002).

4.12.2 – Densidade de massa

A densidade de massa média obtida foi da ordem de 0,60 g/cm³, similar à das madeiras Pinho-brasileiro (*Araucaria angustifolia*), *Pinus caribaea* e Caixeta (*Tagibebuia* sp), superando, no entanto, outras espécies de madeiras leves, tais como, Paineira (*Chlorisia* sp), Kiri (*Pawlonia* sp) e Guapuruvú (*Schyzolobium parahybum*), respectivamente com valores 0,34 g/cm³, 0,36 g/cm³ e 0,41 g/cm³.

4.12.3 - Energia absorvida

A energia absorvida durante o impacto apresentou um valor médio de 3,60 kgf*m, e não pôde ser comparada com os resultados obtidos para madeiras pelo IPT (Boletim Técnico), pois a seção do corpo-de-prova foi inferior àquela especificada no ensaio (2 cm x 2 cm).

4.12.4 – Coeficiente de resiliência (k)

O coeficiente de resiliência (k), por ser relacionado com a dimensão do corpo-de-prova, permitiu efetuar comparações com algumas espécies de madeiras. Para o laminado colado de bambu utilizando adesivo Cascophen, obteve-se o valor médio de 0,27, sendo este valor igual ao do Pinho patula (0,27), e superior ao Pinho-brasileiro (*Araucaria angustifolia*) e ao de outras madeiras, tais como, Guaricica (*Vochysia laurifolia*) e Tamboril (*Enterolobium* sp), com coeficientes de resiliência de 0,24, 0,22 e 0,23, respectivamente.

Na figura 54 apresenta-se uma comparação entre os coeficientes de resiliência para os diferentes tratamentos, observando-se que para o uso do Cascophen foram obtidos os melhores resultados (da ordem de 0,29).

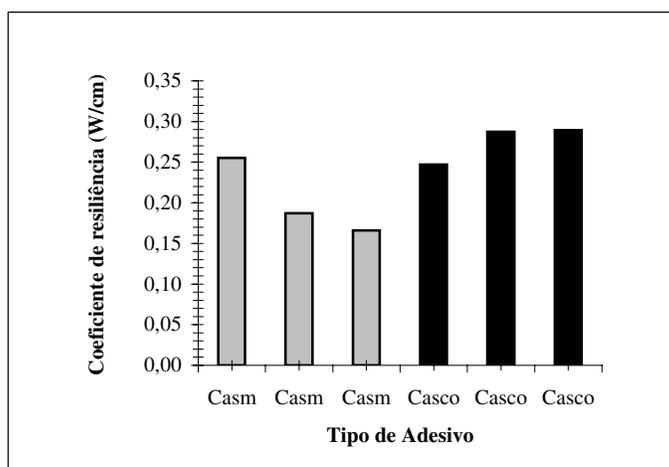


Figura 54 - Coeficiente de resiliência x adesivo

4.12.5 - Cota dinâmica

A cota dinâmica, valor que relaciona o coeficiente de resiliência e a densidade de massa do material, apresentou valor médio de 0,83 e 0,66, para a utilização dos adesivos Cascophen e Cascamite, respectivamente, valores iguais e superiores ao de algumas madeiras utilizadas na construção civil: Pinho-brasileiro (0,62), *Pinus insularis* (0,66), Mogno-*Swietenia macrophylla* (0,57) e Cerejeira *Torresea* sp (0,71). A figura 55 mostra o valor da cota dinâmica para os corpos-de-prova individuais em função do adesivo.

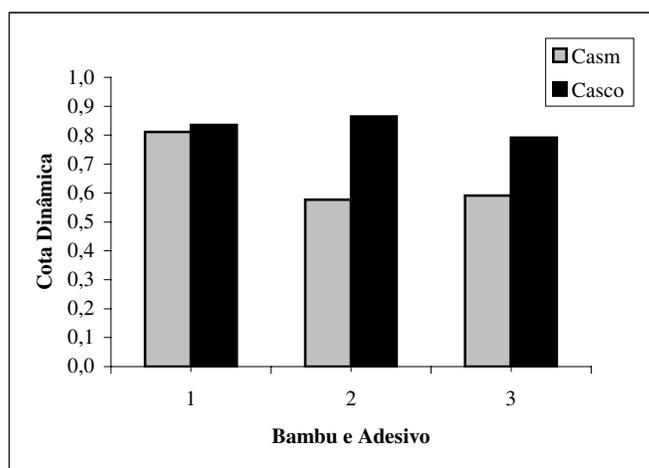


Figura 55 - Cota dinâmica X adesivo

A resistência de colagem do adesivo influenciou os resultados obtidos, pois os maiores valores sucederam com o adesivo Cascophen. Os valores obtidos para a cota dinâmica estão relacionados às madeiras de média resiliência, as quais de acordo com BERALDO (1991), para valores de cota dinâmica entre 0,8 e 1,2, podem ser indicadas para grande parte de utilização dinâmica.

Possibilidades de uso dos materiais

Na literatura consultada não existem relatos sobre ensaio de flexão ao impacto para o laminado colado e contraplacado de bambu.

Como os resultados foram superiores ou similares aos de espécies de madeiras consideradas “moles” ou “macias”, o bambu laminado colado pode ser indicado para a fabricação de cabos de ferramentas, desde que os mesmos não sejam submetidos a grandes impactos.

Este ensaio não foi realizado para o contraplacado, em função da forma de composição das lâminas e das dimensões dos corpos-de-prova exigidos pela norma.

5 - CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

5.1 - Para o BLC

- As espécies de bambu utilizadas, *D. giganteus* e *B. vulgaris*, mostraram-se satisfatórias para a confecção do BLC.
- O *B.vulgaris*, com o adesivo Cascamite, foi mais indicado para a confecção do BLC, desde que o mesmo não venha a receber grandes impactos e esforços.
- O bambu *D. giganteus* mostrou-se indicado para a confecção do BLC com a utilização do adesivo Cascamite, para utilização em peças que não venham desempenhar função estrutural. Com a utilização do adesivo Cascophen, o BLC pode ser indicado para a fabricação de objetos, tais como, por exemplo: mobiliário, cabos de ferramentas que recebam médios impactos e fabricação de cavilhas.
- A forma de colagem e a densidade básica do material influenciaram diretamente no esforço ao qual o material foi submetido. Torna-se aconselhável que nas emendas as lâminas sejam aparelhadas e prensadas por partes, para que seja mantida a uniformidade e a resistência do material.
- Para aumentar a resistência à flexão e ao impacto, deve-se deixar parte da casca na face na qual irá ocorrer os maiores esforços.

5.2 - Para o Contraplacado (CPB)

A espécie *D. giganteus* foi a mais indicada para a confecção do material, em função da largura e da espessura das lâminas obtidas.

O adesivo Cascamite mostrou-se mais indicado para a confecção do CPB, com melhor aproveitamento de lâminas irregulares; com o adesivo Cascophen confeccionado com lâminas regulares suporta maiores esforços.

O CPB pode ser indicado para a fabricação de tampos de mesas, assentos, encostos e portas de móveis e outros usos internos.

5.3 – Sugestões para trabalhos futuros

Baseado nas conclusões deste trabalho de pesquisa pode-se sugerir o encaminhamento de estudos para melhorar o desempenho do BLC e tornar viável sua fabricação, contemplando:

- Estudar a colagem de colmos de bambu com idade inferior a 3 anos;
- Desenvolver maquinário adequado para o aparelhamento das lâminas;
- Verificar a viabilidade do uso de adesivos alternativos, tais como, o óleo de mamona.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**, Rio de Janeiro.

AZZINI, A.; e BERALDO. A. L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Gráfica da Unicamp,. Campinas,SP, 14.pp, 2001.

AZZINI. A.; CIARAMELO, D.; NAGAI, V. **Número de feixes vasculares em três espécies de bambu**. *Bragantia*, Campinas, 36: 7-10, 1977.

AZZINI. A.; CIARAMELO, D.; NAGAI, V. **Propagação vegetativa do bambu gigante**. *Bragantia*, Campinas, 37; I-III,1978.

AZZINI. A.; BORGES, J. M. M. G.; CIARAMELO, D.; SALGADO, A.L. B. **Avaliação quantitativa da massa fibrosa e vazios em colmos de bambu**. *Bragantia*, Campinas, 49: 141 – 146,1990.

AZZINI. A e SALGADO, A.L. B. ***Bambusa Guadua* in Brazil**. I Congresso Mundial de bambu *Guadua*, anais. Pereira, Colômbia, 1992. p 35-41.

AZZINI, A .; e GONDIM TOMAZ. R.M.A. **Extração de amido em cavacos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad) tratados com solução diluída de hidróxido de sódio**. *Bragantia*, Campinas- SP, 55 (1):137-140 p, 1996.

AZZINI, A. e SANTOS, R. dos L. **Bambu: Material alternativo para construções rurais**. Boletim Técnico, IAC, Campinas, SP, n° 171, 1997.

BERALDO, A. L. **Relatório FAPESP (em andamento)**. 2003.

BERALDO, A. L. **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.

BERALDO, A.L. e ZOULALIAN, A. **Bambu: material alternativo para construções rurais.** In: Anais do V ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURA DE MADEIRA. EBRAMEM. Belo Horizonte, MG, v.2. 1995.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A .; REIS, C. C. **Avaliação do ataque de caruncho em colmos e taliscas de bambu por meio de ensaio não destrutivo.** VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Uberlândia, MG, Julho de 2002, CD-ROM.

BORDEN QUÍMICA E COMÉRCIO LTDA (2001/2002). **Boletim Técnico para adesivos Cascamite e Cascophen.** Santa Catarina, RS.

CARRASCO; E. V. M. **Ligações estruturais de madeiras por adesivo.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estrutura . Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Julho de 1984, p 431.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P V. **Bambu laminado e colado.** In: XV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. EBRAMEM. 1995. Belo Horizonte, MG. Anais, v. II, 13 pp.

CIARAMELO, D. e AZZINI. A. **Bambu como matéria prima para papel.** In: V ESTUDO SOBRE EMPREGO DE QUATRO ESPÉCIES DE DENDROCALAMUS NA PRODUÇÃO DE CELULOSE E SULFATO. Bragantia, 30: 1971. p. 321-326.

FERREIRA, C. E. M.; CARRASCO, E. V.; HELLMEISTER, J. C. **Tecnologias de adesivos poliuretanos propriedades e aplicação em madeira.** In: III ENCONTRO BRASILEIRO EM

MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. EBRAMEM, 1988. São Carlos- SP. Anais, v.VI, p. 39-74.

FREAS, A. D. e SELBO, M. L. **Fabrication and adesion of glued laminated wood structural members.** Washigton, D. C. Technical Bulletin, nº1069, fevereiro 1954, 220 pp.

GHAVAMI, K and SOLORZANO, I. G. **Comparison between microstructure of bamboo culm and wood, Acta Microscópia.** III INTERAMERIAN CONFERENCE ON ELECTRON MICROSCOPY e XV MEETING OF THE BRAZILIAN SOCIETY FOR ELECTRON MICROSCOPY, Caxambu-MG, Brazil, 1995.

GONÇALVES, M. T.T.; PEREIRA, M. A .R.; GARBINO, L. V. **Métodos de ensaio de bambu laminado.** VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, EBRAMEM. Uberlândia-MG, julho de 2002, CD-ROOM.

HENRIQUES DE JESUS, J. M. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2000, 110 pp.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.** Ed. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. (1974), 318 p.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the world.** In: IBC 88, 1988, Prafrance.

KOGA, R. C. **Resistência à abrasão de madeira e bambu laminados colados utilizados como elementos de piso.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá-SP, 2001, 117 p.

LEE, A . W.C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. **Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina.** Forester Products Journal, v. 44, n° 9, setembro, 1968, p. 40-46.

LIESE, W. **Anatomy of bamboo.** In: Bamboo research in Asia: Proceedings of a workshop held in Singapore. Anais, Ottawa, Ont., IDRC.; Mai, p 165-172, 1980.

NOMURA, T.; TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. **Production and utilization of bamboo in Brazil.** In: IUFRO WORD CONGRESS, XVIII, 1986, Yugoslavia. Anais, Proceedings. Kyoto, Wood Research Institute, 1986, p.61-69.

REVISTA CONTENTS. **Matéria bambu no Japão.**Tóquio –Japão, n°128,p. 4-16, julho de 2002.

SOBRAL FILHO, M. **Adesão e adesivos para madeira.** Boletim de Série Técnica. Publicação do Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, n° 5, Brasília – DF, 1982, 18p.

WELLONS, J. D. **Adhesion to woody substrates.** Oregon State University, Forest Research Laboratory , 1997, p. 1115.

WETHYGAVIVORN, B.; INPON, I.; KULSUWAN, M. **Behavior of the glue-laminated bamboo composite.** In: Proceedings of the Nocmat/3 – Vietnam 2002, International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. Published by Construction, publishing house, march, 2002, p. 446-451.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERALDO, A. L.; NÃÃS, I. A.; FREIRE, J. W. **Materiais para construções rurais**. LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1991, Rio de Janeiro - RJ. 167 pp.

JANSSEN, J.J.A. **Building with bamboo**. London, 1988. 68pp. Intermediate Technology Publications.