

BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)[#]

Luis Eduardo Rebolo Lapo^{*}

Antonio Ludovico Beraldo^{}**

RESUMO: Este estudo teve como objetivos determinar as características físicas e mecânicas do bambu laminado colado (BLC) e buscar aplicações práticas desse material. O laminado foi confeccionado com a espécie *Dendrocalamus giganteus* e uma resina poliuretana derivada do óleo de mamona (*Ricinus communis*). O BLC foi submetido a ensaios de flexão estática, compressão simples e ensaios não destrutivos (END - ultrassom), além de se verificar sua estabilidade com o ensaio de variações dimensionais. Os resultados dos ensaios não destrutivos foram comparados com as características mecânicas do laminado. Outros ensaios foram conduzidos a fim de comprovar se a resina poliuretana à base de mamona apresenta resultados satisfatórios como adesivo, por tratar-se de um material ecologicamente correto.

PALAVRAS-CHAVE: Laminado colado; Bambu; Resina poliuretana; Óleo de mamona.

PASTED BAMBOO LAMINATE (PBL)

ABSTRACT: The objectives of this study were to determine the physical and mechanical characteristics of a pasted bamboo laminate (PBL), and seek practical applications for this material. The laminated was manufactured with bamboo belonging to the *Dendrocalamus giganteus* specie, and a polyurethane resin derived from castor oil (*Ricinus communis*). The PBL was submitted to several assays: static flexion, simple compression and non-destructive assays (NDA – ultrasound), besides having its dimensional stability checked by a dimensional variation assay. The results from the non-destructive assays are compared to the mechanical characteristics of the laminated. Other assays will be conducted in order to demonstrate if the polyurethane castor oil-based resin presents satisfactory results as an adhesive, apart from being an environmentally friendly material.

KEYWORDS: Pasted Laminate; Bamboo; Polyurethane Resin; Castor Oil.

[#] Essa pesquisa recebeu o apoio da empresa KEHL Polimeros e do CNPq

^{*} Discente de Graduação do Curso de Engenharia Agrícola do Depto. de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. E-mail: luis.lapo@agr.unicamp.br

^{**} Docente Associado do Depto. de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; Engenheiro Agrícola. E-mail: beraldo@agr.unicamp.br

INTRODUÇÃO

A escassez de recursos naturais, aliada ao uso de novas tecnologias, tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas na busca de novos materiais alternativos para substituir a madeira, visando à sustentabilidade socioambiental (RIVERO, 2003). O bambu é um material que apresenta um grande potencial, devido às suas adequadas propriedades físicas, ao seu baixo custo, à facilidade em sua obtenção e ao seu crescimento extremamente rápido quando comparado com a madeira. Por estes motivos essa matéria-prima é largamente utilizada como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas subtropicais e tropicais da Ásia.

No Brasil existem diversos trabalhos e publicações (MANTILLA CARRASCO, 1989; JESUS; CALIL JR, 2000) a respeito da madeira laminada colada (MLC), que são lâminas de madeira ligadas por meio de um adesivo, formando, assim, pequenas vigas. A eficiência desse material foi constatada por meio da realização de diversos ensaios físico-mecânicos. Porém, a respeito do bambu laminado colado (BLC), no Brasil ainda não foram desenvolvidos muitos trabalhos, restando a importação dessa tecnologia e desse material do continente asiático.

Segundo McDonough (2000), o bambu apresenta características mecânicas superiores àquelas de muitos materiais, incluindo-se a própria madeira. Além de ser um material resistente, flexível, versátil, o bambu apresenta um grande apelo ecológico, por tratar-se de uma matéria-prima renovável.

Este estudo teve como objetivos a determinação das características físicas e mecânicas do bambu laminado colado (BLC) e a busca de aplicações práticas para o uso desse material.

Foram comparadas as propriedades do laminado confeccionado com a espécie *Dendrocalamus giganteus* e uma resina poliuretana derivada do óleo de mamona (*Ricinus communis*).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os colmos de bambu que seriam utilizados para a confecção do material em estudo deveriam ser obtidos na Fazenda Santa Eliza, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas; porém, devido à falta de equipamentos adequados para a preparação das taliscas de bambu para confecção dos corpos-de-prova, os colmos foram retirados na Unesp - Bauru, por haver nesse local, tanto equipamentos mais adequados para o processamento do bambu quanto melhores condições para preparar as taliscas de bambu.

Como matéria-prima utilizou-se a espécie *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante), coletando-se colmos com três anos de idade. Após a realização da primeira parte do procedimento de corte, os colmos foram transformados em taliscas. Ainda no *campus*

da Unesp - Bauru, as taliscas foram usinadas e transformadas em régua de bambu com 150 cm de comprimento por 2,5cm de largura e três espessuras distintas: 6 mm, 9 mm e 12 mm. As régua com espessuras distintas permitiram produzir corpos-de-prova (Figura1-b) com 2, 3 e 4 régua coladas entre si, e com dimensões finais similares. O maquinário utilizado (Figura 1-a) sofreu pequenas adaptações, por questões de segurança, para a utilização de bambu no lugar da madeira. Essas adaptações foram feitas pelo Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira, Unesp - Bauru, que supervisionou o processo de usinagem das taliscas.



Figura 1 - a



Figura 1 - b

Figural- a. Plaina 4 faces da marca OMIL utilizada na usinagem do bambu.

Figura 1- b. Corpos-de-prova e taliscas utilizadas nos ensaios.

Ao passar as taliscas pela máquina, duas plainas retiravam o material da parte externa (casca) e também da parte interna da talisca (mais clara), pois estas camadas não são ideais para se aplicar o adesivo, devido à baixa aderência que apresentam com o aglomerante. No entanto, retirava-se apenas uma fina camada da parte externa e o restante do desbaste era feito pela parte interna do bambu, já que o material, quanto mais próximo da casca, é também mais resistente, devido à maior concentração de feixes de fibras. A máquina opera em uma velocidade de processamento tal que permite preparar taliscas em escala industrialmente viável.

O BLC foi elaborado a partir de lâminas de bambu, coladas entre si, com as fibras sendo dispostas paralelamente ao eixo da peça. Os dois componentes do adesivo poliuretano foram misturados na proporção de 1:1 (isocianato e pré-polímero, em massa), de acordo com as recomendações de Jesus e Calil Jr (2000). Em seguida, com auxílio de um pincel e de uma balança analítica foram aplicados 300 g/m² de adesivo em cada talisca. As taliscas coladas foram submetidas a uma pressão de 1 MPa em uma prensa Charlott de capacidade máxima de 30 toneladas-força por um

período de 6 horas. Após o processo de colagem as taliscas foram usinadas e lixadas para se obter uma padronização dimensional.

A resistência do bambu é proporcional à sua quantidade de fibras. Como a maior concentração destas se dá próximo à casca do bambu (até 70%) e elas diminuem à medida que se caminha na direção do centro, sabe-se que sua resistência será tanto maior quanto mais perto da casca estiver a amostra retirada. No processo de preparação das taliscas não se excluiu a parte dos nós do colmo do bambu, embora sejam regiões menos resistentes quando submetidas à flexão estática. Também não se diferenciaram, no processo de colagem, as partes interna (miolo) e externa (casca) de cada talisca, sendo que a colagem entre miolo/miolo faz com que o corpo-de-prova fique mais vulnerável neste ponto.

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada adotando-se as especificações da norma técnica de ensaios aplicados à madeira - NBR 7190 (ABNT, 1997) e também de acordo com informações fornecidas pelo fabricante do adesivo poliuretana à base de óleo de mamona (Kehl Polímeros). Após a preparação dos corpos-de-prova em laboratório, tornou-se necessário proceder-se à sua usinagem antes da realização dos ensaios, para se obter uma padronização dimensional. Como não havia equipamentos adequados para a realização destes procedimentos na Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, foram utilizados equipamentos do Laboratório de Estudos da Madeira, pertencente à Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

Após a confecção dos corpos-de-prova, estes foram submetidos a ensaios de **flexão estática, compressão simples, ensaios não destrutivos (END - ultra-som) e cisalhamento da superfície colada**, além de se verificar sua estabilidade com o **ensaio de variações dimensionais**.

2.1 ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

Utilizou-se o equipamento EPOCH 4 (Panameric), com sensores de contato com frequência de ressonância de 1 MHz. Aplicou-se o ultra-som em quatro pontos distintos de cada corpo-de-prova, sendo três pontos tomados na direção radial, ao longo das linhas de cola, e um ponto na direção longitudinal (paralela às fibras). O módulo de elasticidade (módulo dinâmico, em GPa) foi avaliado por meio do produto da massa específica aparente do material (em kg/m^3), pelo quadrado da VPU (em m/s).

2.2 VARIAÇÕES DIMENSIONAIS

Para a realização do ensaio de variações dimensionais, da umidade e da massa específica aparente, os corpos-de-prova foram marcados em três direções (radial, tangencial e axial), medidos, pesados e, em seguida, imersos em água. Após 2 (duas) horas foram retirados e novamente medidos e pesados, repetindo-se o procedimento após 24 horas de imersão.

Os corpos-de-prova foram novamente medidos e pesados após 96 horas e, em seguida, foram levados à estufa até que ficassem completamente desidratados.

2.3 FLEXÃO ESTÁTICA

Para a determinação do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE), foram realizados ensaios de flexão estática em vigas de bambu laminado colado. Esse ensaio consistiu em aplicar uma carga sobre a viga de bambu laminado colado e medir sua deformação com auxílio de um relógio comparador Mitutoyo, com sensibilidade de 10^{-2} mm. Os corpos-de-prova, de dimensões 2 cm x 2 cm x 30 cm, foram ensaiados adotando-se um vão de 27cm.

2.4 COMPRESSÃO SIMPLES

Os corpos-de-prova, com dimensões nominais de 2 cm x 2 cm x 5 cm, foram submetidos à compressão paralela em relação às fibras.

2.5 CISALHAMENTO DA SUPERFÍCIE COLADA

A resistência ao cisalhamento na direção das fibras é uma característica mecânica que exerce grande influência nas ligações, uma vez que a transmissão de carga na maioria das ligações adesivas ocorre por cisalhamento.

Para este ensaio foram utilizados corpos-de-prova com dimensões nominais de 3 cm x 2 cm x 5 cm (maior dimensão na direção das fibras), com área nominal dupla de cisalhamento de 2 cm x 3 cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIAÇÃO DIMENSIONAL

Os resultados obtidos mostram que o BLC confeccionado com adesivo poliuretano à base de óleo de mamona pode ser considerado um material bastante leve, com massa específica aparente entre $0,59 \text{ g/cm}^3$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$. Após duas horas de imersão em água a variação dimensional dos corpos-de-prova (Figura 2) foi em média 0,73% na direção radial, 0,10% na direção axial (ou seja, praticamente um valor desprezível) e 1,35% na direção tangencial. Observou-se que a variação tangencial foi superior à radial, a exemplo do que ocorre com as madeiras. Esta situação também foi encontrada por Rivero (2003). Porém, nota-se que à medida que aumenta a duração da imersão, ocorre uma tendência contrária, ou seja, a variação radial passa a ser predominante. Cumpre esclarecer que, no

caso do BLC, ao retirar-se a casca do bambu, com o objetivo de favorecer a aderência, perde-se parte do cintamento natural que o material já apresentava.

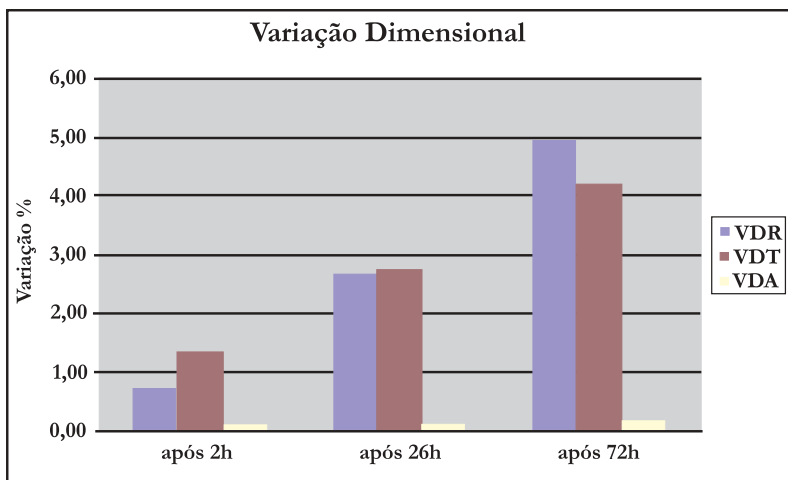


Figura 2. Variação média do BLC nas direções radial (VDR), tangencial (VDT) e axial (VDA).

3.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água pelo BLC variou de 4,82% a 11,05%. Os corpos-de-prova que apresentaram menor absorção foram aqueles confeccionados com 3 régua coladas, seguidos pelos corpos-de-prova com 4 e 2 régua, respectivamente (Figura 3).

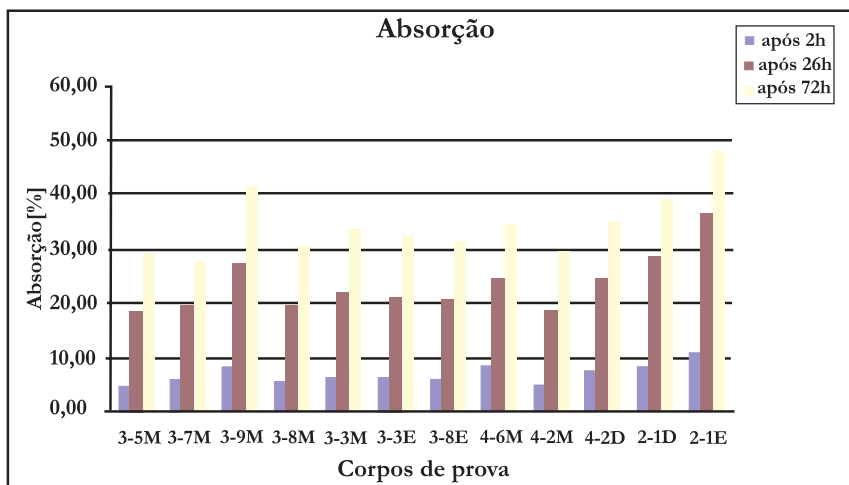


Figura 3. Absorção de água pelo BLC ao longo da duração de imersão.

3.3 ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Observou-se no ensaio de flexão estática (Figura 4) que a maioria dos corpos-de-prova não se rompeu na linha de cola, indicando a eficiência do adesivo utilizado (Figura 5). Quanto maior foi o número de taliscas coladas, maior foi a ocorrência de ruptura na linha de cola. Os corpos-de-prova com apenas 2 (duas) taliscas não se romperam nenhuma vez na linha de cola; aqueles com 3 taliscas romperam-se algumas vezes na linha de cola, e aqueles com 4 taliscas geralmente romperam-se na linha de cola. O rompimento na linha de cola ocorreu, provavelmente, devido à aplicação da resina com auxílio de um pincel, o que pode ter ocasionado a presença de pequenas bolhas de ar entre as superfícies coladas, diminuindo assim a eficiência do adesivo.



Figura 4. Ensaio de flexão estática.



Figura 5. Rompimento na linha de cola.

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) apresentaram valores médios da ordem de 18,4 GPa e 121,4 MPa, respectivamente. Os corpos-

de-prova com 3 taliscas foram aqueles que suportaram a maior carga, seguidos pelos corpos-de-prova confeccionados com duas e quatro taliscas. Desta maneira, não se tornou possível obter uma correlação direta entre a tensão de ruptura em relação ao número de taliscas coladas.

Buscando-se comparações na literatura, obteve-se que corpos-de-prova confeccionados por Oliveira e Paez (2006), com o adesivo comercial "Cascophen" forneceram um valor médio de módulo de ruptura (MOR) de 89,3 MPa. Rivero (2003), por sua vez, obteve um valor médio de 72,57 MPa.

Os corpos-de-prova confeccionados com o adesivo *Cascorez* forneceram melhores resultados do que aqueles confeccionados com o adesivo *Cascophen*. Oliveira e Paez (2006) obtiveram um valor médio do módulo de ruptura de 89,67 MPa. Já Gonçalves, Pereira e Garbino (2002) e Wethyavivorn e colaboradores (2002) obtiveram valores de 166 MPa e 94 MPa, respectivamente. Nas Figuras 6 e 7 apresenta-se a comparação entre os módulos de ruptura dos BLC obtidos pelos diferentes autores.

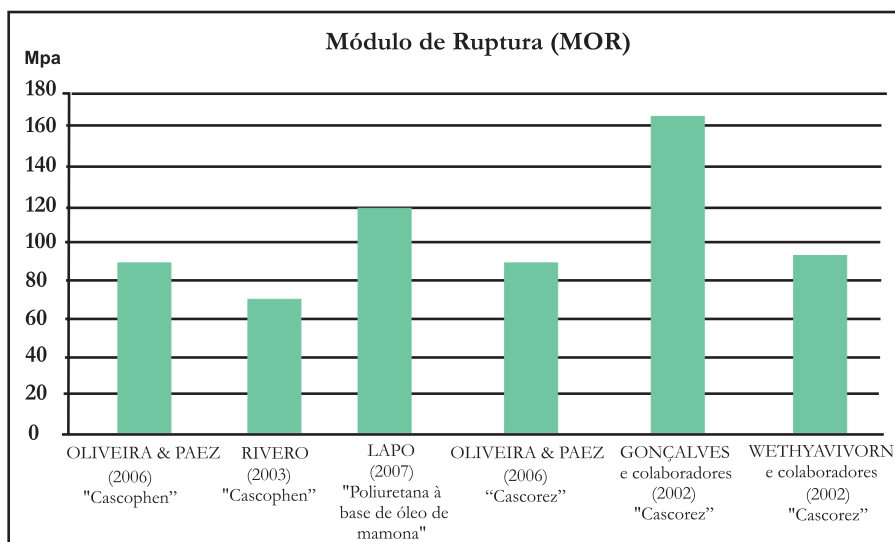


Figura 6. Comparação dos valores de MOR obtidos por diferentes autores utilizando diferentes tipos de adesivo (Cascophen, Cascorez e Poliuretana à base de óleo de mamona).

Os principais fatores intervenientes nas variações encontradas no MOR podem dever-se a um ou vários dos seguintes fatores: espessura das taliscas, quantidade de taliscas empregadas, seção do colmo empregada na confecção das taliscas, tipo do adesivo, método de aplicação do adesivo e do sistema de prensagem utilizado. No entanto, observa-se que os resultados obtidos no presente estudo encontram-se bem posicionados na comparação com os demais.

O valor médio do módulo de elasticidade (MOE) foi próximo daquele obtido por Mantilla Carrasco, Moreira e Xavier (1995), da ordem de 18 GPa. Esse valor é bastante superior ao módulo de elasticidade encontrado por Oliveira e Paez (2006), que ficou em torno de 6 GPa. Wethyavivorn e colaboradores (2002) também encontraram valores muito reduzidos, entre 3 e 4 GPa.

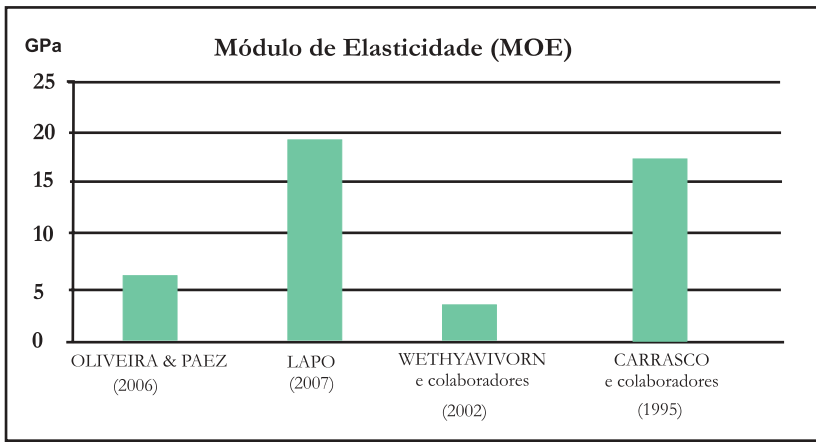


Figura 7. Comparação entre os MOE obtidos pelos diferentes autores.

Observa-se uma grande diferença entre os valores obtidos pelos diferentes autores, podendo-se atribuir tal discrepância às imperfeições decorrentes do ensaio em si, pois o sensor de deformação, quando não é bem instalado, pode levar à obtenção de deformações localizadas (deslizamentos) e diferentes do que seria o comportamento do material como um todo.

3.4 COMPRESSÃO SIMPLES

A tensão de ruptura nos corpos-de-prova no ensaio de compressão simples (Figura 8) variou de 42,6 MPa a 72,4 MPa, enquadrando o BLC na categoria de uma madeira de média a elevada resistência em compressão. Porém, não foi possível evidenciar a relação entre a quantidade de linhas de cola e a tensão de ruptura, pois os maiores valores ocorreram para três taliscas coladas entre si, e os menores valores para duas taliscas coladas entre si, sendo que os corpos-de-prova com quatro taliscas forneceram tensões intermediárias. Esse fato evidencia a importância do processo de colagem e, evidentemente, da adequação do processo de fabricação das taliscas de bambu. Devido às pequenas dimensões do corpo-de-prova também não foi possível determinar o módulo de elasticidade neste ensaio.



Figura 8. Ensaio de compressão simples.

Rivero (2003) obteve valor médio de 37,14 MPa para o BLC confeccionado com o adesivo “Cascophen”. Oliveira e Paez (2006), por sua vez, obtiveram o valor médio de 40,74 MPa. Novamente se destaca o desempenho do material analisado no presente trabalho, embora os parâmetros envolvidos na produção do BLC, pelos diferentes autores, não tenham sido os mesmos (Figura 9).

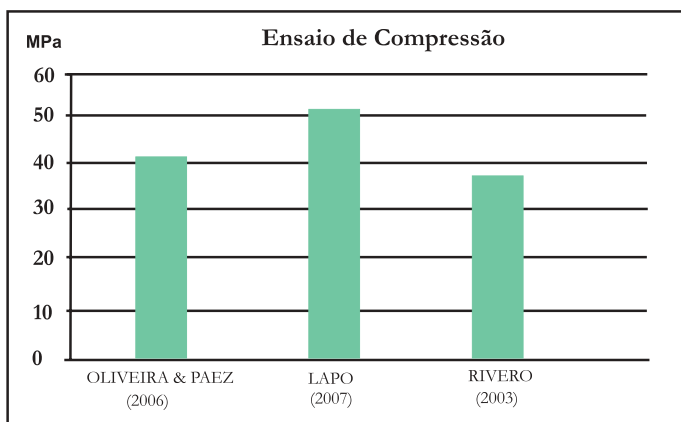


Figura 9. Comparação entre tensões de ruptura em compressão obtidas por diferentes autores.

3.5 CISALHAMENTO DA SUPERFÍCIE COLADA

Os corpos-de-prova apresentavam uma área nominal dupla de cisalhamento de 10 cm², e quando uma carga lhes era aplicada ocorria o esmagamento da parte superior, antes de ocorrer o cisalhamento. Este problema foi solucionado reduzindo-se a dimensão dos corpos-de-prova (Figura 10), resultando, desse modo, em uma área nominal dupla de cisalhamento em torno de 6,3 cm².



Figura 10. Corpo-de-prova utilizado no ensaio de cisalhamento da superfície colada.

A ligação adesiva bambu-bambu pode ser considerada uma ligação estrutural, já que a ruptura quase sempre ocorreu no bambu e não na linha de cola. Além disso, foram obtidos valores relativamente elevados, variando entre 6 MPa e 17 MPa, superiores aos resultados obtidos por Rivero (2003), na faixa de 4,60 MPa. Nos trabalhos de Wethyavivorn e colaboradores (2002) e de Gonçalves, Pereira e Garbino (2002), os resultados obtidos foram de 7,5 MPa e 10,0 MPa, respectivamente.

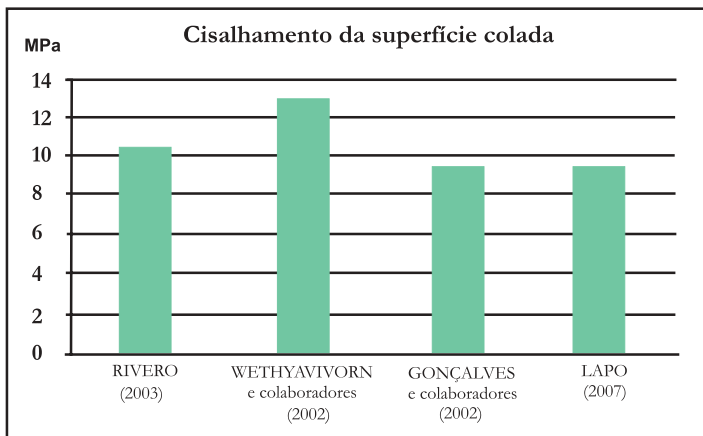


Figura 11. Comparação entre as tensões de cisalhamento obtidas por diferentes autores.

3.6 APLICAÇÕES PRÁTICAS

3.6.1 Confeção de pisos

A resistência à abrasão é um fator limitante no emprego de materiais em pisos. Segundo Oliveira e Paez (2006), a espécie de bambu utilizada (*Dendrocalamus giganteus*)

pode ser empregada como elemento de piso em edificações, em relação ao parâmetro da resistência abrasiva. Ainda segundo os autores, o BLC apresentou resultados adequados no ensaio de abrasão, que é o parâmetro no mercado nacional e internacional para classificação de madeiras para pisos.

3.6.2 Confeção de muletas

Na Unesp – Bauru, o BLC está sendo utilizado para confeção de muletas, embora os resultados finais ainda não tenham sido divulgados ao público.

3.6.3 Confeção de pranchas de surfe

As pranchas de surfe atuais são fabricadas a partir de um bloco de poliuretano, fibra de vidro e resinas *epóxy* poliéster ortofilática. A utilização do bambu pode resultar em uma prancha mais leve, mais resistente, de menor custo, além de ser feita a partir de matéria-prima renovável. O uso desses materiais reflete a tendência de vanguarda da arquitetura, que é a construção e o uso de materiais ecologicamente corretos.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O estudo comparativo entre os diferentes tipos de adesivo demonstrou que o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona se mostrou bastante eficiente, podendo, em determinadas situações, mostrar-se competitivo com os adesivos comerciais. No entanto, com vista a uma utilização estrutural, a aplicação do adesivo não deverá ser feita com o auxílio de um pincel. Deve-se efetuar a mistura dos dois componentes em um saco plástico, sem a presença de ar e, com o auxílio de uma bisnaga, efetuar a aplicação do material resultante sobre as régua de bambu, evitando-se, assim, a formação de bolhas de ar, que provocam enfraquecimento da linha de cola do BLC.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Anexo B. Ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1997.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. R.; GARBINO, L. V. Métodos de ensaio de bambu laminado. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8. Uberlândia, 2002. **Anais...** Uberlândia: [s.n.], 2002

JESUS, J. M. Henriques de; CALIL JR., C. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MANTILLA CARRASCO, E. V. **Resistência, Elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada (MLC)**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MANTILLA CARRASCO, E. V.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. **Bambu laminado e colado**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5. Belo Horizonte, 1995. **Anais...** Belo Horizonte, MG: EBRAMEM, 1995. v. 2.

MCDONOUGH, M. **Engineered Bamboo in Architecture and Design**. Bamboo Research Initiative General Technical Report FPL-GTR-163, 2000.

OLIVEIRA, A. K. F.de; PAEZ, J. B. **Caracterização físico-mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS NA CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA E SUSTENTÁVEL. Salvador, 2006. **Anais Eletrônico...** Salvador, Ba: [s. n.], 1996. Cd-rom.

RIVERO, L. A. **Bambu Laminado Colado**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

WETHYAVIVORN, B.; INPON, I.; KULSUWAN, M. **Behavior of the glue-laminated bamboo composite**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES. Proceedings of the Nocmat/3. Vietnam, 2002. **Anais...** Vietnam: Published by Construction, Publishing House, March, 2002.