

DESENVOLVIMENTO DE MOLDES AQUECIDOS PARA CURVATURA DE BAMBU LAMINADO COLADO (BLAC)

Marco A. R. Pereira

UNESP - FEB

Bauru, São Paulo, Brasil
pereira@feb.unesp.br

Bruno P. F. Ramos

UNESP - FAAC - PPGD

Bauru, São Paulo, Brasil
bperazzelli@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho trata da primeira etapa dos procedimentos experimentais de uma dissertação de mestrado em design que busca determinar uma metodologia para a curvatura do bambu laminado colado (BLaC), voltado para a fabricação de mobiliário. Primeiramente é apresentada uma revisão bibliográfica que aborda brevemente as aplicações do bambu industrializado, os tipos de molde utilizados para a curvatura de laminados e como obtê-los, e principalmente, apresenta os procedimentos experimentais realizados, que incluem a confecção de moldes aquecidos do tipo macho-fêmea e do sistema de aquecimento dos mesmos, e a definição das espessuras iniciais das lâminas de bambu para sua curvatura em cada um dos moldes. Ao final dos experimentos foram obtidos, satisfatoriamente, 10 moldes do tipo macho-fêmea, um sistema de aquecimento por fitas flexíveis que pode ser utilizado em todos os 10 moldes, e uma tabela de espessuras de ripas para a realização dos testes de curvatura, permitindo assim, iniciar a próxima etapa do projeto em direção do desenvolvimento de uma metodologia para curvatura do BLaC.

ABSTRACT

This paper presents the first stage of the experimental procedures of a master's thesis in design that seeks to define a methodology for the curvature of glued laminated bamboo (GLB),

aimed at furniture manufacture. First it presents a literature review that briefly discusses the applications of industrial bamboo, types of mold used for bending laminates and how to obtain them, and, mainly, presents the experimental procedures performed, including the making of the male-female heated molds and its heating system, and the setting of the initial thickness of the bamboo strips to its curvature in each mold. At the end of the experiments were satisfactorily obtained 10 male-female molds, a heating system of flexible tapes which can be used in all the 10 molds, and a table with the bamboo strips thicknesses for the bending tests, allowing thus starting the next stage of the project towards the development of a methodology for GLB bending.

1. INTRODUÇÃO

Design e a busca pela sustentabilidade estão cada vez mais próximos e indissociáveis à medida que o planeta urge por medidas que auxiliem em sua preservação, e o design se mostra como um agente ativo em prol desta causa. Ao projetar, o designer atua indiretamente no consumo das matérias-primas e riquezas do planeta, sejam elas renováveis ou não, e diretamente no estabelecimento dos diversos artefatos que usamos em nosso dia-a-dia e que se espalham e se acumulam por todo o planeta. Para atuar de forma mais responsável em busca pela sustentabilidade o designer precisa estar consciente de seu papel como projetista não só

de artefatos, mas também de estilos de vida e consumo.

Papanek [9] afirma que o design constitui a ferramenta mais poderosa dada ao homem com a qual se torna capaz de moldar os seus produtos, ambientes e, por extensão, a si mesmo. O designer deve analisar o passado, assim como as consequências de seus atos para o futuro, e isto é uma tarefa difícil, pois muitas vezes sua carreira foi condicionada por uma orientação focada ao mercado e ao sistema de lucros. É necessário que ele seja extremamente cuidadoso com aquilo que é criado e por que é criado, pois suas opções e decisões no trabalho podem ter consequências ecológicas de longo alcance e em longo prazo.

O designer tem papel relevante na escolha e aplicações dos materiais utilizados em produtos de fabricação em série, mesmo estando ciente de que não estará diretamente envolvido com a origem ou o fim destes materiais. Lawson [6] ainda afirma que os projetistas necessitam conhecer a tecnologia que usam para atingir os seus fins, ou seja, eles não decidem apenas o que querem obter, mas também têm de saber como obtê-lo.

A crescente escassez dos recursos naturais, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, vem incentivando as pesquisas com materiais alternativos, objetivando a preservação da natureza e à melhoria da qualidade de vida do homem [13]. Segundo Lima [7], muitos materiais naturais tiveram sua importância elevada em função das reais possibilidades de renovação de suas reservas e sua biocompatibilidade, como a facilidade de sua absorção pela natureza quando descartados.

Como fonte de matéria-prima, a madeira sempre foi conhecida como sendo um material renovável, entretanto, devido à alta taxa de desmatamento das florestas mundiais, esta fonte renovável está sob muita pressão e se sua extração de forma insustentável continuar, ela poderá tornar-se uma fonte extremamente limitada. De acordo com o Programa Nacional de Florestas e com estudos realizados pela Sociedade Brasileira de Silvicultura, existe um desequilíbrio entre a oferta e a procura de madeira plantada para suprir as necessidades de

crescimento projetadas para a indústria de base florestal [14].

Van der Lugt [18] informa que além da madeira existem diversas fontes de materiais renováveis que podem ser usadas para produzir materiais semiacabados. Tais fontes renováveis, como o bambu, o vime, o sisal, a cortiça e a cana, entram na categoria de "Non-Wood Forest Products", que são bens de origem biológica e florestal, que não sejam madeira, e nem sejam provenientes de florestas ou de outros terrenos arborizados.

O bambu pode ser considerado um recurso renovável e sustentável, graças à alta capacidade de geração anual de brotos e à realização da ciclagem de nutrientes. Segundo Greco e Cromberg [3], essa ciclagem acontece à medida que a planta repõe folhas, ramos e folhas caulinares, que caem quando perdem a função fisiológica e se incorporam ao solo. A característica mais importante de uma plantação de bambu está no fato de ser uma cultura permanente de produção anual, produzindo grande quantidade de biomassa, sem que para isso, seja necessário um novo plantio após a colheita, ao contrário de outros tipos de culturas florestais comerciais.

Além de suas qualidades ambientais, o bambu pode ser considerado um instrumento para o desenvolvimento econômico e social, a partir do momento que sua tecnologia, quando apropriada por pequenos agricultores, pode contribuir para a geração de renda e trabalho [1].

O bambu pode ser utilizado tanto em sua forma *in natura* como processado. Dentre os produtos à base de bambu processado (madeira de bambu) destacam-se produtos como carvão, carvão ativado, palitos, chapas de aglomerado, chapas de fibra orientada, chapas entrelaçadas para uso em fôrmas para concreto (compensado de bambu), painéis, produtos à base de bambu laminado colado (tais como pisos, forros, lambris), esteiras, compósitos, componentes para habitação e para a indústria moveleira.

O Bambu Laminado Colado (BLaC) é produzido a partir de lâminas de bambu esquadrejadas e coladas umas as outras formando peças de diversos formatos e tamanhos. O BLaC pode ser usado pra fabricação

de cadeiras, sofás, estantes, gabinetes, mesas, etc., sendo um excelente substituto para a madeira. Apesar de os móveis de bambu laminado serem relativamente novos, o mercado está crescendo rapidamente; atualmente, a China ainda é o único local onde são produzidos, ainda em escala mediana, mas existe muito potencial, particularmente em se tratando de exportações para a América do Norte e Europa [2].

Já o BLaC curvo, conhecido internacionalmente como "Parallel Curved Gluelam", também é produzido na China e usado principalmente para fabricação de mobiliário. As características estéticas das peças curvas de bambu laminado, associadas às possibilidades de formas que podem ser geradas, agregam alto valor a este material quando de seu uso na indústria moveleira.

Devido à escassa disponibilidade de material bibliográfico sobre o bambu laminado colado curvo e suas técnicas de produção, como informado por Pereira e Ramos [10], para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados referentes à curvatura de madeira laminada, já que a madeira é o material que mais se aproxima do bambu em relação às suas características e processamento.

Segundo Taylor [17], a madeira tem uma flexibilidade limitada em seu estado seco, por isso, para ser curvada, ela deve ser preparada, seja através de pequenos cortes dentados, laminação, fervura, vaporização ou tratamento com substâncias químicas, como a amônia. Todos esses métodos são capazes de aumentar a flexibilidade da madeira, e cada um tem suas vantagens e desvantagens.

Focando-se no uso de lâminas de madeira, e se tratando do processo de curvatura das mesmas, cozinhá-las, encharcá-las ou vaporizá-las, as tornarão mais flexíveis, porém, criarão uma película que impedirá a adesão do adesivo nas mesmas. Neste processo, é necessária uma primeira prensagem sem a aplicação do adesivo e a posterior secagem das ripas, o que aumenta o tempo de fabricação e dificultará a posterior aplicação do adesivo, já que as lâminas não estarão mais retas. Porém, somente com a aplicação controlada de calor, a madeira e também o bambu já se tornam menos rígidos,

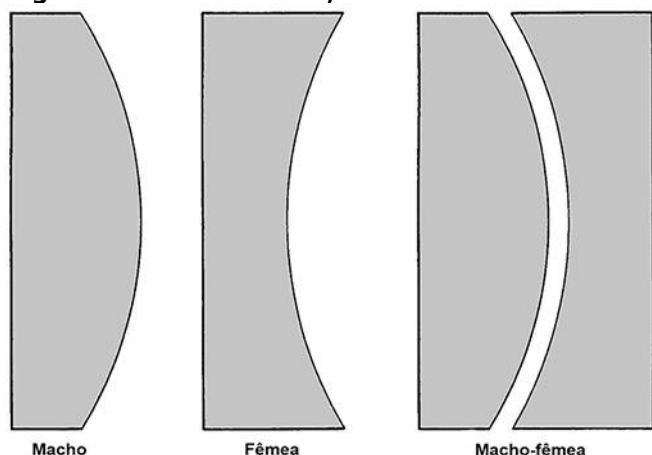
permitindo sua curvatura mesmo sem o uso de água ou vapor. Portanto, a utilização de um molde aquecido pode ser o mais recomendado para uma produção em série ou em larga escala de peças curvas de madeira ou bambu laminado.

Segundo Stevens e Turner [16], na laminação curva, tiras ou lâminas relativamente finas de madeira são unidas adjacentes umas as outras com as fibras aproximadamente paralelas, e todas são curvadas simultaneamente sobre uma fôrma curva. Neste caso, lâminas mais finas são recomendadas, de preferência com menos de 5 mm, para que a peça fique o mais fiel possível ao molde [12].

Taylor [17] define um molde como sendo uma moldura ou fôrma de referência, contra a qual um material mais macio pode ser colocado para modificar sua forma. No caso dos moldes para curvar laminados, Schleining [15], Kelsey [5] e Stevens e Turner [16] afirmam que apesar da possibilidade de serem feitos de metal, em sua maioria, são produzidos de madeira ou de compósitos como MDF, compensados ou chapas de partículas, que são materiais mais baratos e com resistência adequada. Eles funcionam melhor se forem da mesma espessura que o conjunto de lâminas, pois isto ajuda no alinhamento das mesmas.

Existem diversos tipos de molde, mas os mais comuns e simples são do tipo macho, fêmea ou macho-fêmea (Figura 1), sendo este último formado pelo uso dos dois primeiros simultaneamente. Com o molde macho-fêmea o laminado é prensado entre duas fôrmas, sendo a pressão aplicada com parafusos ou grampos, e devendo ser suficiente para atender às especificações do fabricante do adesivo utilizado, levando-se em consideração a pressão extra necessária para conformar o material no formato da curva do molde [16].

Figura 1. Moldes macho, fêmea e macho-fêmea.



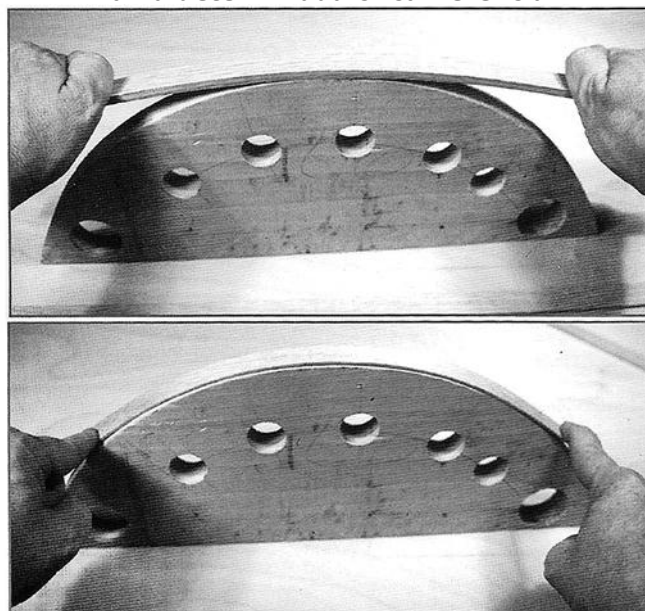
Fonte: Elaborado pelo autor

O molde, e consequentemente a prensagem, pode ocorrer a frio ou a quente. No segundo caso, o calor pode ser aplicado ao laminado em uma variedade de maneiras, mas não é incomum se empregar fitas aquecedoras de baixa voltagem para uma rápida cura de laminados de até uma polegada de espessura. As tiras de aquecimento, de corrente de baixa tensão e alta amperagem, são unidas em uma das pontas e colocadas sobre o topo e a base das superfícies a se curvar. A temperatura não deve exceder os 100 °C, mas mesmo com esta temperatura, laminados curvos de 50 mm de espessura podem ser obtidos dentro de um período de 5 min [16].

Na seleção da espessura de lâminas a serem curvadas, o fator mais importante a ser considerado é o raio de curvatura limite sobre o qual a madeira consegue ser curvada antes que ocorra sua ruptura. Schleining [15] e Taylor [17] relatam que existem diversas maneiras de se encontrar a espessura ideal das lâminas para uma determinada curva, havendo até tabelas de medidas e algumas fórmulas matemáticas já definidas para tal, mas esses autores ressaltam que tais informações devem servir somente como um ponto de partida. A prática mais aceita é de que as lâminas devem ser serradas o mais grossas possíveis, mas tão finas quanto necessário. Geralmente, quanto mais fina melhor, pois lâminas finas colocam menos stress nas linhas de cola, tem menos retorno elástico e produzem uma peça mais resistente.

Um método de baixa tecnologia, e quase infalível, para encontrar a espessura correta de lâmina para um determinado raio consiste em cortar uma única ripa do material e tentar curvá-la com a mão ao redor do raio em que se deseja trabalhar, como apresentado na Figura 2, se a peça parecer tão rígida que possa quebrar, então está muito grossa [15].

Figura 2. Testes de espessura da lâmina para uma determinada circunferência.



Fonte: Schleining [15]

Cada lâmina deve ser fina o suficiente para ser curvada isoladamente ao redor do raio desejado. Assim, quanto menor for o raio, mais finas deverão ser as lâminas, e um maior número delas será necessário para se atingir a mesma espessura para uma determinada peça.

Terminada a revisão de literatura foi possível reunir informações sobre os métodos de processamento do bambu para sua transformação em ripas laminadas, assim como os métodos utilizados para a fabricação do bambu laminado colado, como pode ser visto em Pereira e Ramos [10]. Já o material coletado sobre a madeira laminada permitiu preencher a falta de conhecimentos sobre as técnicas de curvatura do bambu laminado, possibilitando-se iniciar os procedimentos experimentais, descritos a seguir.

2. OBJETIVOS

1. Colher, processar e beneficiar o bambu para obtenção de ripas laminadas;
2. Confeccionar moldes macho-fêmea para curvatura do BLaC;
3. Confeccionar sistema de aquecimento para os moldes.
4. Definir a espessura ideal das lâminas para curvatura em cada molde.

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa experimental, desenvolvida através de raciocínio indutivo, seguindo as seguintes etapas experimentais: colheita do bambu, processamento inicial dos colmos, confecção dos moldes macho-fêmea, confecção do sistema de aquecimento para os moldes, beneficiamento final dos colmos e definição das espessuras ideais para as lâminas de bambu.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Materiais

Para a confecção das lâminas de bambu, utilizou-se colmos de bambu maduro da espécie *Dendrocalamus asper*, pertencentes à coleção existente no Plantio Experimental do campus da UNESP de Bauru.

Os moldes e o sistema de aquecimento foram confeccionados manualmente com os seguintes materiais: chapas de OSB e compensado de virola, lâminas de alumínio, adesivos, resistência elétrica, fita de teflon, pregos, parafusos e porcas.

Para os procedimentos experimentais, foram utilizados os equipamentos apresentados na Tabela 1, além de equipamentos manuais diversos como martelo, arco de serra, chave de fenda, luvas, entre outros.

Tabela 1. Equipamentos utilizados na pesquisa e a função desempenhada.

Equipamento	Função
Motosserra	Colheita
Serra circular destopadeira	Processamento dos colmos de bambu
Serra circular refiladeira dupla	Processamento dos colmos de bambu
Serra circular de bancada	Beneficiamento das lâminas de bambu
Plaina duas faces (própria para bambu)	Beneficiamento das lâminas de bambu
Tanque	Tratamento das lâminas por imersão
Esquadrejadeira de Bancada	Confecção dos moldes
Serra de Fita	Confecção dos moldes
Furadeira e parafusadeira	Montagem dos moldes
Paquímetro (Sensibilidade 0,01 mm)	Verificação da espessura das lâminas

Fonte: Elaborado pelo autor

Todos os equipamentos encontraram-se à disposição do pesquisador no Laboratório de Experimentação com Bambu da Faculdade de Engenharia do campus de Bauru, ou foram adquiridos em empresas idôneas.

4.2 Procedimentos Experimentais

4.2.1 Colheita

Ao se iniciar os procedimentos experimentais, o primeiro item definido foi a espécie de bambu com a qual foram confeccionadas as lâminas para o BLaC. Dentre as espécies recomendadas para fabricação de BLaC escolheu-se a *Dendrocalamus asper*, devido a maior quantidade de estudos já existentes sobre a mesma e a disponibilidade de colmos no próprio campus da UNESP de Bauru, onde foi desenvolvida a pesquisa.

A colheita foi realizada com motosserra, na área do plantio experimental do campus da UNESP de Bauru, e ao total foram colhidos quatro colmos maduros com idade entre 4 e 6 anos. As Figuras 3 e 4 mostram a moita de bambu e a forma de se efetuar o corte dos colmos.

Figura 3. Moita de bambu gigante e detalhe da marcação das idades dos colmos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4. Colheita do colmo e retirada dos ramos laterais.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda na área do plantio experimental, os ramos foram removidos e as mudas separadas para futuro plantio. Os colmos foram então cortados em seções menores para facilitar o transporte.

4.2.2 Processamento

As seções de colmo foram transportadas até o Laboratório de Experimentação com Bambu, e o processamento se iniciou com a medição dos colmos e seu corte em serra circular destopadeira (Figura 5), conforme a posição da seção na altura do colmo e, consequentemente, a espessura de sua parede, ou seja, as partes mais próximas da base foram reservadas para as lâminas mais espessas e as partes próximas ao topo para as lâminas mais finas.

Figura 5. Corte da seção do colmo em serra circular destopadeira.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para evitar o desperdício do bambu durante o processamento, as seções foram cortadas em medidas que variam entre 60 cm e 100 cm de comprimento (Figura 6), prevendo-se alguns centímetros extras de segurança para o caso de pequenos defeitos que a lâmina pudesse sofrer nas extremidades durante o beneficiamento, ou deslizamentos excessivos das mesmas dentro do molde durante a prensagem.

Figura 6. Colmos cortados nas medidas necessárias.



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir as seções destopadas foram refiladas, em serra refiladeira dupla (Figuras 7 e 8). Nesta etapa, dependendo do diâmetro da seção do colmo, da largura definida para as lâminas, e da habilidade do operador da máquina, o número de lâminas obtido pode variar drasticamente, mas em média foram obtidas sete ripas por seção do colmo.

Figura 7. Colmos sendo refilados.



Fonte: Elaborado pelo autor

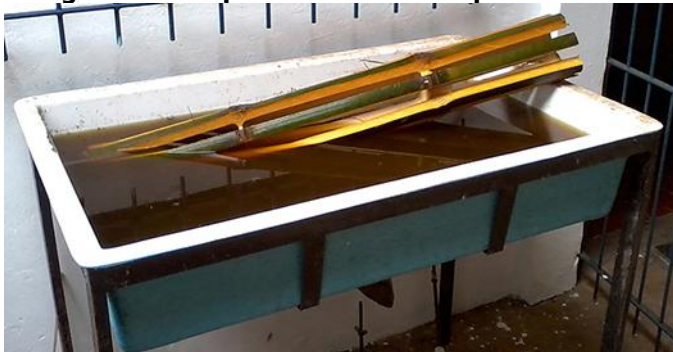
Figura 8. Colmo após o refileamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após as peças serem refileadas, passaram por tratamento preservativo contra o ataque de insetos xilófagos e fungos. Existem diversos métodos de tratamento, porém, como os colmos serão posteriormente processados, e será gerado pó impregnado com o produto químico do tratamento, optou-se por um tratamento mais superficial, mas capaz de proteger o bambu durante o período do processamento e colagens. O tratamento constou de imersão das seções refileadas em tanque com solução de octaborato de sódio, na proporção de 8% a 10% de pó de octaborato de sódio para cada medida de massa de água, por um período de 15 min. A Figura 9 mostra o tanque com a solução.

Figura 9. Tanque de tratamento por imersão.



Fonte: Elaborado pelo autor

Seguido o tratamento, ocorreu a secagem das peças ao ar até atingirem o teor de umidade de 15%, valor este controlado com medidor de umidade para madeira. Em seguida, as ripas foram separadas manualmente umas das outras pelo rompimento dos diafragmas (Figura 10).

Figura 10. Ripas separadas manualmente.



Fonte: Elaborado pelo autor

Tendo-se realizado o desmembramento das ripas, elas foram levadas até a serra circular de bancada, onde ocorreu a retirada das protuberâncias causadas pelos nós e diafragmas, respectivamente, na parte externa e interna do bambu, (Figura 11).

Figura 11. Detalhes de duas ripas antes e depois da retirada dos nós e diafragmas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

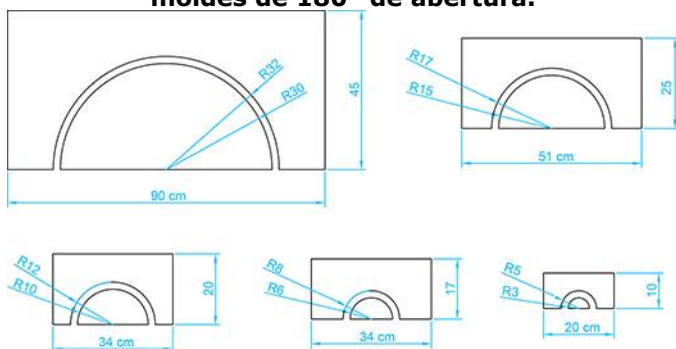
4.2.3. Moldes

Para a criação de uma metodologia para efetuar a curvatura de BLac, foi necessário a definição de uma série de testes para verificar a capacidade desse material em ser curvado com o auxílio de moldes. Porém, como não foi encontrado durante a revisão bibliográfica nenhum tipo de teste similar com o qual fosse possível basear-se, foi necessário o desenvolvimento de um método próprio.

Como seria inviável a fabricação de uma grande quantidade de moldes para se analisar uma variação pequena de raios, como por exemplo, uma variação de raios de um em um centímetro, foram tomadas como base as dimensões de um móvel comum, como uma cadeira ou poltrona, e então definiu-se a análise de cinco raios distintos, 3 cm, 6 cm, 10 cm, 15 cm e 30 cm, e duas aberturas angulares possíveis, 180° e 90°. A espessura do molde foi definida em 3 cm, medida suficiente para receber as peças de BLaC com aproximadamente 2,5 cm de largura, e possível de ser feita somando-se algumas camadas de chapas de aglomerado ou compensado.

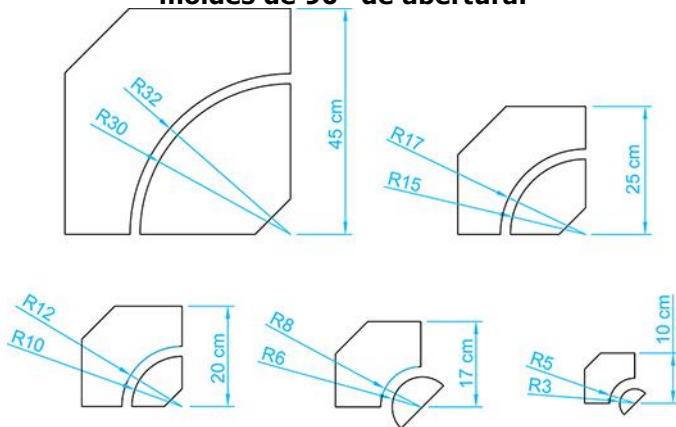
Após a definição das dimensões, fez-se o desenho técnico dos moldes, em software CAD, para verificar se seriam adequados ao que foi proposto (Figuras 12 e 13).

Figura 12. Desenho técnico com as medidas dos moldes de 180° de abertura.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13. Desenho técnico com as medidas dos moldes de 90° de abertura.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com todas as medidas dos moldes definidas, iniciou-se a confecção dos mesmos conforme os desenhos técnicos. Seguindo-se as informações fornecidas por Schleining [15], Kelsey [5] e Stevens e Turner [16], os moldes foram construídos com camadas de chapas de aglomerado ou compensado de virola (Figura 14), e adesivo PVA e pregos para unir as diversas camadas desses materiais. A utilização de mais de uma camada foi necessária para se atingir a espessura desejada de 3 cm para os moldes.

Figura 14. Chapas de compensado e OSB.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As chapas foram recortadas com serra circular e suas camadas unidas com adesivo PVA. Em seguida foi realizado um corte no canto dos moldes, com a serra esquadrejadeira de bancada, para permitir o acesso do sargento barra T aos moldes no momento das prensagens. Já para fazer o corte curvo dos raios em cada molde, foi usada uma serra de fita (Figura 15).

Figura 15. Confeção dos moldes macho-fêmea.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida os moldes foram esquadrejados em serra circular e receberam o acabamento em lixadeira de fita (Figura 16).

Figura 16. Confeção dos moldes macho-fêmea.



Fonte: Elaborado pelo autor

Tendo-se realizado o acabamento com lixa, os moldes macho-fêmea encontraram-se finalizados, como pode ser visto nas Figuras 17 e 18.

Figura 17. Moldes com abertura de 90° finalizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18. Moldes com abertura de 180° finalizados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4. Sistema De Aquecimento

Após a confecção das partes macho-fêmea dos moldes, foi desenvolvido o sistema de aquecimento elétrico, essencial para a curvatura das lâminas e para acelerar o tempo de cura do adesivo e, consequentemente, de prensagem.

Considerando-se as informações apresentadas por Stevens e Turner [16], e os modelos de moldes aquecidos de Lourenço e Pereira [8] e Ramos e Pereira [11], apresentados em Pereira e Bruno [10], foi desenvolvido um sistema de aquecimento com fitas flexíveis e removíveis, para permitir o desmonte das diversas partes que compõem os moldes de forma mais fácil. Para sua confecção foram utilizadas fitas adesivas de teflon e fios de resistência elétrica para 110 V (Figura 19). Escolheu-se a fita de teflon devido às suas características de condutividade térmica e, ao mesmo tempo, de isolamento elétrico.

Figura 19. Resistência elétrica e fita adesiva de teflon.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.5. Laminação

Finalizado o processamento dos colmos de bambu, iniciou-se a laminação das ripas, tendo sido possível obter as espessuras finais desejadas para as lâminas e o esquadreamento de suas faces. Considerando-se a indicação de Reubens [12], para o uso de lâminas com menos de 5 mm para a fabricação de laminado colado curvo, o processo foi realizado com o objetivo de obter lâminas com espessuras de 5 mm, 4 mm, 3 mm, 2 mm e 1 mm. A operação se deu em plaina duas faces própria para bambu (Figura 20), conforme as seguintes etapas: ajuste das laterais já paralelas das ripas; desengrosso; e ajuste final da espessura das ripas.

Figura 20. Plaina duas faces própria para bambu.



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar da plaina duas faces utilizada para laminação não apresentar um mecanismo para definir com precisão a espessura das lâminas geradas, pôde-se obter as espessuras desejadas de 5 mm, 4 mm, 3 mm e 2 mm. Somente não foi possível obter lâminas com 1 mm de espessura, pois as lâminas mais finas do que 1,2 mm quebravam-se durante o processamento na máquina, por isso, as lâminas de 1mm foram substituídas pelas de 1,2 mm. A Figura 21 apresenta as lâminas finalizadas.

Figura 21. Lâminas finalizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.6 Espessuras Das Lâminas De Bambu

Com as lâminas finalizadas, o próximo passo foi realizar testes para definir a espessura ideal das mesmas para serem envergadas em cada um dos raios diferentes de cada molde. Seguindo o método apresentado por Schleining [15], lâminas de 1,2 mm a 5 mm de espessuras foram curvadas manualmente em torno de cada um dos moldes, para verificar a flexibilidade das mesmas

e, assim, definir uma espessura inicial com a qual se poderia trabalhar em cada molde (Figura 22).

Figura 22. Teste manual da espessura das ripas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. RESULTADOS

5.1. Moldes

Após a construção dos moldes macho-fêmea com as chapas de compensado e aglomerado, foram utilizadas tiras de alumínio para confeccionar as partes que entram em contato com o BLaC, e que além de servir como dissipador de calor, também protegem o sistema de aquecimento e uniformizam a curva dos moldes. Para tal, primeiramente as tiras foram cortadas no tamanho adequado (Figura 23).

Figura 23. Tiras de alumínio cortadas nas medidas necessárias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, foram feitos dentes nas laterais das tiras, que foram então dobrados e serviram

para fixar as mesmas nos moldes através de parafusos com porcas do tipo borboleta (Figuras 24 e 25), com o intuito de facilitar a montagem e desmontagem do molde.

Figura 24. Confecção dos dentes e dobras das tiras de alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25. Furação das tiras de alumínio para fixação nos moldes e parafuso de fixação.



Fonte: Elaborado pelo autor

As Figuras 26 e 27 apresentam os moldes macho-fêmea finalizados e com as partes metálicas já acopladas.

Figura 26. Moldes de 180° de abertura finalizados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27. Moldes de 90° de abertura finalizados.

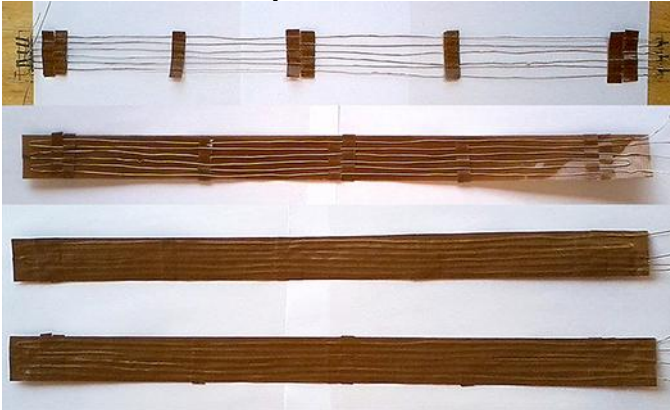


Fonte: Elaborado pelo autor

5.2. Sistema De Aquecimento

Para o aquecimento do molde, quatro fitas de aquecimento foram feitas, sendo duas com as dimensões de 50 cm x 3,5 cm e outras duas com 100 cm x 2 cm. Devido suas medidas e a flexibilidade dos materiais, somente com estas quatro fitas foi possível realizar, não simultaneamente, o aquecimento de todos os moldes. Ambas receberam 3,10 m de fio de resistência, os quais foram dispostos em zigue-zague dentro da área da fita teflon, e foram totalmente recobertos pela mesma (Figura 28).

Figura 28. Etapas da confecção do sistema de aquecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o objetivo de facilitar a ligação das fitas foram utilizados terminais do tipo olhal, parafusos e porcas do tipo borboleta (Figura 29).

Figura 29. Terminais instalados.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 30 mostra um dos moldes macho-fêmea já finalizado e com as fitas de aquecimento posicionadas e inseridas na estrutura.

Figura 30. Molde finalizado com as fitas de aquecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3. Espessuras Das Lâminas De Bambu

Para cada um dos cinco moldes com seus raios distintos foram realizados os testes de espessura de lâminas, buscando utilizar a lâmina mais grossa possível por molde, tendo sido obtida uma espessura ideal para cada um dos raios, como apresentado na Tabela 2.

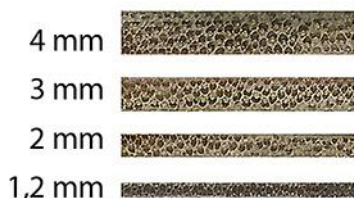
Tabela 2. Espessuras das ripas para cada medida de raio.

Raio	3	6	10	15	30
Espessura da ripa (mm)	1,2	2	2	3	4

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de usar lâminas de 5 mm nos testes, estas não foram capazes de serem curvadas em nenhum dos moldes, portando, a maior espessura usada foi de 4 mm. A Figura 31 mostra uma imagem de topo das ripas definidas por sua espessura.

Figura 31. Espessura final das lâminas utilizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor

É necessário ressaltar que durante os testes as ripas foram curvadas somente nas áreas que não apresentavam nós, pois, segundo Janssen [4] “os nós são menos resistentes a flexão e dificultam a curvatura”, portanto, devido ao fato destes serem mais frágeis que as regiões dos internós, eles rompem-se com maior facilidade, como mostra a Figura 32.

Figura 32. Teste com lâmina contendo nó no centro da peça.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6. CONCLUSÕES

A partir das informações coletadas com a revisão bibliográfica, presentes em Pereira e Bruno [10], foi possível realizar o processamento e beneficiamento das lâminas de bambu de forma

satisfatória, conseguindo-se atingir com precisão as espessuras desejadas para as mesmas, com exceção das laminas de 1 mm, que foram substituídas pelas de 1,2 mm. O mesmo ocorreu com a confecção dos moldes macho-fêmea utilizando-se as chapas de compensado e OSB.

Além dos moldes, foi necessário desenvolver um sistema de aquecimento para os mesmos, que permitisse o uso e controle de temperatura para causar a deformação do bambu e a aceleração na cura do adesivo utilizado, e no processo de prensagem. Num primeiro momento o sistema de aquecimento desenvolvido mostrou-se eficiente para as necessidades da pesquisa, pois tornou possível o aquecimento dos moldes e o controle da temperatura.

Outro fator relevante com relação às fitas aquecedoras, é que além de serem flexíveis, servindo para todas as curvas testadas, permitem de forma fácil a separação de seus componentes quando de seu descarte.

Para a definição das espessuras iniciais das lâminas para cada molde utilizado, seguiu-se o método manual de teste apresentado por Schleining [15], o que permitiu a definição das espessuras iniciais das ripas, assim como também comprovou que as regiões das lâminas que contém os nós se rompem mais facilmente do que as regiões de internós, e portanto devem ser evitadas ou posicionadas nas extremidades dos moldes. E apesar dos moldes com 90° de abertura possibilitarem a conformação da lâmina com maior facilidade do que os moldes com 180°, essa diferença não foi suficiente para exigir uma espessura específica de lâmina para cada uma das duas aberturas em moldes de um mesmo raio.

Em relação às lâminas de bambu, sugere-se a realização de novas pesquisas utilizando folheados de bambu, ao invés das lâminas obtidas pelo processo de serragem, como foi realizado nesta pesquisa, pois os processos para obtenção de folheados podem gerar lâminas de bambu com espessuras mais finas do que as utilizadas neste trabalho (1,2 mm). Isto permitiria o uso de raios menores, além do fato de que o processo de obtenção das folhas por torneamento reduz a geração de resíduos e,

consequentemente, minimiza-se o desperdício de material.

A próxima etapa da pesquisa consiste na realização dos experimentos de curvatura propriamente ditos, utilizando os moldes aquecidos e as lâminas de bambu com as espessuras definidas para cada curvatura de molde, objetivando-se assim, definir uma metodologia para a curvatura de bambu laminado para a fabricação de mobiliário.

REFERÊNCIAS

- [1] Barelli, B. G. P., 2009, "Design para sustentabilidade: modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos," Dissertação (Mestrado em Design) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru 131p.
- [2] Binyuan, Z., and Jingyan, J., 2001, "Transfer of Technology Model (TOTEM): The Bamboo Furniture Making Unit," Nanjing Forestry University, Nanjing, 22p.
- [3] Greco, T. M., and Cromberg, M., 2011, "Bambu: cultivo e manejo," Editora Insular, Florianópolis, 184p.
- [4] Janssen, J. J. A., 1999, "Building with bamboo: a handbook," Practical Action Publishing, Warwickshire, UK, 65p.
- [5] Kelsey, J. (Org.), 2005, "Fine woodworking on bending wood: 35 articles selected by the editors of Fine Woodworking magazine," Newtown: The Taunton Press, Newtown, 122p.
- [6] Lawson, B., 2011, "Como arquitetos e designers pensam," Oficina de textos, São Paulo, 296p.
- [7] Lima, M. A. M., 2006, "Introdução aos materiais e processos para designers," Editora Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro, 225p.
- [8] Lourenço, M., and Pereira, M. A. R., 2011, "Desenvolvimento de mobiliário em bambu laminado sob os conceitos de ecodesign," In: Anais do 3º Simpósio Paranaense de Design Sustentável, UEL, Londrina, pp.83-93.
- [9] Papanek, V., 1992, "Design for the real world. Human ecology and Social Change," Academy Chicago Publishers, Chicago, 394p.
- [10] Pereira, M. A. R., and Ramos, B. P. F., 2014, "Curvatura de Bambu Laminado Colado," In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Blucher Design Proceedings, São Paulo, 1(4), pp. 2044-2055.
- [11] Ramos, B. P. F., and Pereira, M. A. R., 2014, "O Uso do Bambu Laminado Colado na Confecção de Mobiliário," Revista Estudos em Design (Online), Rio de Janeiro, 22.1.
- [12] Reubens, R., 2010, "Bamboo in Sustainable Contemporary Design," INBAR Working Paper, Beijing, 60, 180p.
- [13] Rivero, L. A., 2003, "Laminado colado e contraplacado de bambu," Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 85p.
- [14] Rosa, S. E. S., and Correa, A. R., and Lemos, M. L. F., and Barroso, D. V., 2007, "O Setor de Móveis na Atualidade: Uma Análise Preliminar," BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 25.
- [15] Schleining, L., 2002, "The complete manual of wood bending," Linden Publishing, Fresno, 208p.
- [16] Stevens, W. C., and Turner, N., 2008, "Wood bending handbook," Fox Chapel Publishing, Petersburg, 110p.
- [17] Taylor, Z., 2011, "Wood bender's handbook," Sterling Publishing, New York, 144p.
- [18] Van Der Lugt, P., 2008, "Design Interventions for Stimulating Bamboo Commercialization: Dutch Design meets Bamboo as a Replicable Model," Delft Academic Press, Delft, 398p.