

(\*)

Paulo Silva Pinto (\*\*)

David Rodney Leonei Pennington (\*\*)

Claudete Catanhede do Nascimento (\*\*)

Zulmar Bonates da Cunha Neto (\*\*)

José Murilo Feraz Suano (\*\*)

## RESUMO

Após o estudo de algumas espécies de madeira para uso alternativo em projetos de móveis, foram selecionadas duas espécies que preenchiam alguns requisitos básicos para a apresentação de um móvel com características próprias, tais como: desenho na madeira, leveza do protótipo, resistência da madeira etc. As espécies selecionadas foram: Guariúba (*Clarisia racemosa*) e Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*). Com estas espécies selecionadas foram construídos dois protótipos de cadeira, usando laminados e compensados.

## INTRODUÇÃO

O objetivo da manufatura deste protótipo, foi basicamente, exemplificar o uso de laminados e compensados curvos como alternativa de desenho de móveis que possuam características físicas e estéticas próprias e, cuja produção, seja viável técnica e economicamente.

Procurou-se desenvolver um móvel que sustentasse o estudo em pauta, apresentando um objeto de uso diário, uma cadeira, que pudesse de imediato ter o seu desempenho avaliado, ou seja, o fato de ser construído com laminados e compensados pudesse fornecer elementos de confronto com peças semelhantes de madeira maciça do ambiente cotidiano. A idéia fundamental do desenho foi aproveitar as características de estabilidade, rigidez e resistência dos laminados e compensados, para reduzir o número de peças e juntas de fixação e assim proporcionar uma elevada rigidez em toda a estrutura.

---

(\*) Projeto Financiado pela Fipeq/Banco do Brasil.

(\*\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - DPPP.

## MATERIAL E MÉTODO

### Processos de produção e montagem

Para a manufatura das peças laminadas e compensadas foram utilizadas lâminas de 1,6mm de espessura, obtidas em torno laminador.

Foram construídos dois protótipos utilizando duas espécies diferentes: Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) e Guariúba (*Clarisia racemosa*). As lâminas foram previamente secas até um conteúdo de umidade em torno de 10% e cortadas em dimensões apropriadas à manufatura das peças finais. Para a colagem das lâminas, foi usado resina uréia-formol e catalizador 5 da Alba Indústrias Químicas S.A.

Este tipo de adesivo, relativamente barato, é muito conveniente para uso na manufatura de laminados. É praticamente incolor, desenvolve boa resistência sob pressões de colagem moderadas, e além disso, possui boa resistência à umidade e água em temperaturas ambientes. As resinas de polivinil; "colas brancas", possuem propriedades bem inferiores às de uréia-formol. Em laminados com curvaturas acentuadas as colas brancas são praticamente imprestáveis, principalmente se expostas à alta umidade Capron (1963); Stevens & Turner (1970).

### Equipamentos e dispositivos

Para a manufatura das peças laminadas que formam os apoios do encosto e os pés, foram construídos dois moldes de madeira em dimensões e geometrias correspondentes às especificadas no desenho do produto. Os moldes são mostrados nas Figuras 3 e 4.

Esses moldes incorporam blocos de madeira de apropriada espessura e uma fita metálica cobrindo toda a largura e comprimento da peça laminada. Depois de espalhada a cola em todas as lâminas, estas são posicionadas sobre o molde e pressionadas entre si. Para cada peça de apoio do encosto e dos pés, foram utilizadas 14 lâminas, dando assim uma espessura final da peça de 22,4mm.

A pressão nos moldes foi feita por dois meios: pelo aperto dos parafusos que ligam a base dos moldes aos blocos; e por uma fita metálica tracionada por um parafuso posicionado na base inferior do molde. Os blocos aplicam pressão nas partes retas da peça e a fita metálica pressiona as lâminas em suas curvaturas. Deve-se cuidar para que a distribuição de pressão ao longo da peça seja a mais uniforme possível. É possível controlar as pressões aplicadas nos parafusos através de um torquímetro devidamente calibrado.

Após o aperto dos blocos de madeira e da fita metálica até uma pressão adequada, a peça é deixada sob essa pressão constante até a cura completa do adesivo. Como o tempo de cura do adesivo depende da temperatura ambiente, pode-se aumentar a velocidade de cura colocando os moldes numa secadora de madeira convencional. Então, ajusta-se a temperatura da secadora a um nível adequado à polimerização rápida do adesivo e também à umidade relativa do ar para que as lâminas atinjam um conteúdo de umidade de equilíbrio entre 12% e 15%. Deve-se tomar a precaução de usar madeira devidamente seca para construção dos moldes, a fim de evitar-se posteriormente contrações dos moldes quando estes forem colocados na secadora. Depois da cura do adesivo, as peças são usinadas em suas dimen-

sões finais para posterior montagem do móvel.

### Montagem e Acabamento

Para montagem da cadeira foi usado o mesmo adesivo, uréia-formol, e grampos para prensagem das peças entre si. A montagem é muito simples. Porém, deve-se tomar o devido cuidado no posicionamento das peças para manter a simetria geométrica especificada no desenho (existem ferragens apropriadas para fixações citadas para uso em linha de produção).

A peça laminada de apoio do encosto foi chanfrada na aresta lateral em um ângulo correspondente à curvatura do assento do encosto. Este chanfro, deve ser o mais exato possível para evitar folgas que prejudiquem a colagem. Para maior segurança de fixação, pode-se usar parafusos, introduzidos de baixo para cima, fixando o pòrtico formador dos pés e a peça de apoio do encosto e do assento. Neste caso, a espessura do assento deve ser compatível com a necessária profundidade de penetração do parafuso na peça. A fixação da travessa frontal nos pés e na parte inferior do assento é feita por meio de parafusos.

Depois de montada a cadeira, as peças foram lixadas para receber o acabamento final de selador e verniz. Pronta a cadeira, pesou 4,2 kg, apresentando alta rigidez e aparentemente grande resistência. Como não se dispõe no momento de equipamento apropriado para realizar ensaios de resistência de peças de mobiliário, a avaliação do comportamento do protótipo, será feita através do uso ao longo do tempo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1 e 2 mostram o protótipo da cadeira que foi construída procurando aproximar ao máximo da idéia-princípio do desenho. É composta de apenas sete peças: o encosto, o assento, dois apoios ao encosto, dois pares de pés e a travessa frontal entre os dois pés de frente. O assento e o encosto, ambos de compensados, além das finalidades óbvias, asseguram rigidez e estabilidade transversal entre os apoios e os pés. A travessa frontal laminada, de formato curvo e fixada nos dois pés e na parte inferior do assento, tem a função de evitar a abertura transversal dos mesmos, com o peso do usuário. Esta peça com suas juntas de fixação formando um triângulo, contribui para a rigidez de toda a estrutura. Os pés, em dois pares, esquerdo e direito, são formados por duas peças laminadas com um formato de pòrtico, dispostas no sentido longitudinal do assento. A espessura da peça laminada propicia resistência aos cantos curvos e evita o uso de travessas entre os pés, frente e trás. Os dois apoios do encosto são peças laminadas fixadas entre o assento e os pòrticos formadores dos pés. Devido ao tipo de fixação, essa peça, possui uma certa flexibilidade análoga à de uma viga em balanço. Quanto menor a espessura da peça, maior a sua flexibilidade. No entanto, a redução da espessura é limitada pela necessidade de se manter uma certa resistência no canto curvo da peça.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo de produção das peças laminadas, usando moldes de madeira e cura do adesivo à temperatura ambiente ou em secadoras, embora tecnicamente eficiente, acarreta uma baixa produtividade quando empregado em escala industrial. Além da necessidade de construção de dezenas de moldes, o processo, basicamente manual, é muito lento e por isto oneroso. Uma alternativa simples e econômica, seria a substituição dos moldes de madeira por moldes metálicos acionados por prensa hidráulica e dispositivos especialmente projetados para garantir pressões uniformes ao longo de toda peça laminada. A cura do adesivo se faz através do aquecimento dos moldes por vapor a uma adequada temperatura e pressão. Desse modo, assegura-se um controle preciso das pressões de colagem ao mesmo tempo agilizando enormemente o processo de cura do adesivo. Esse processo de produção de laminados e compensados curvos é muito usado nas indústrias moveleiras Capron (1963). Stevens (1970) e Ratti (1983) analisaram funcionamento de vários tipos de prensas e dispositivos usados no processo produtivo descrito acima. Nesses experimentos, não foi desenvolvido esse processo alternativo pois as dimensões das peças projetadas e, conseqüentemente dos moldes, eram incompatíveis com a área útil da prensa hidráulica existente no laboratório. No entanto, para a manufatura do assento e do encosto, foi utilizada essa prensa hidráulica para acionar o molde de geometria curva, tipo macho-fêmea, como mostrado na Figura 5. Como o assento e o encosto têm a mesma curvatura, podem ser produzidos em uma única operação de prensagem. Depois de prensados, os moldes foram mantidos na prensa até que a cura do adesivo se completasse. Posteriormente, o assento e o encosto foram usinados em suas dimensões finais.

## SUMMARY

*In the study of some hardwood species as alternative use in furniture design, two species were selected based on its own characteristics such as: decorative design, prototype lightness, resistance under use conditions, etc. The selected species were: Guariúba (*Clarisia racemosa*) e Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*). From each one species, prototype chairs was assembled by laminated wood and Plywood.*

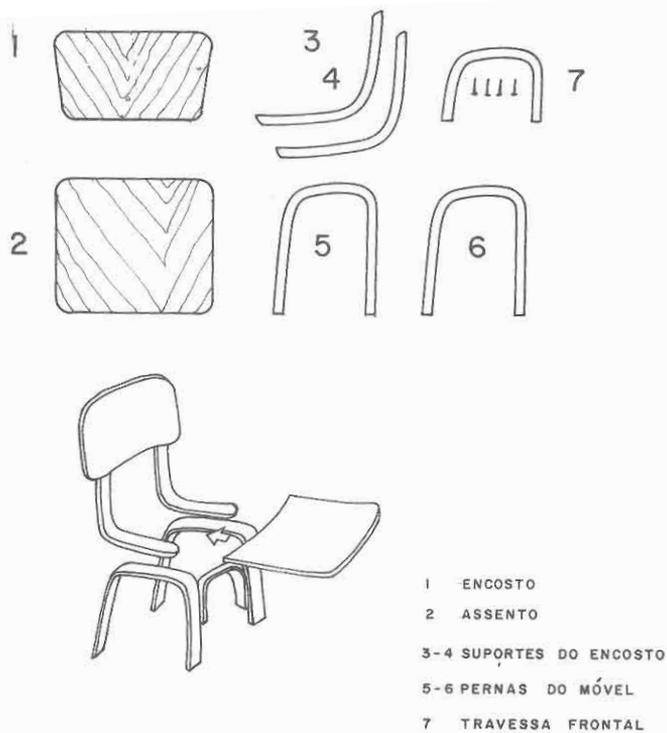


Fig. 1. Protótipo-de móvel de laminados e compensados.



Fig. 2. Cadeira com peças laminadas.

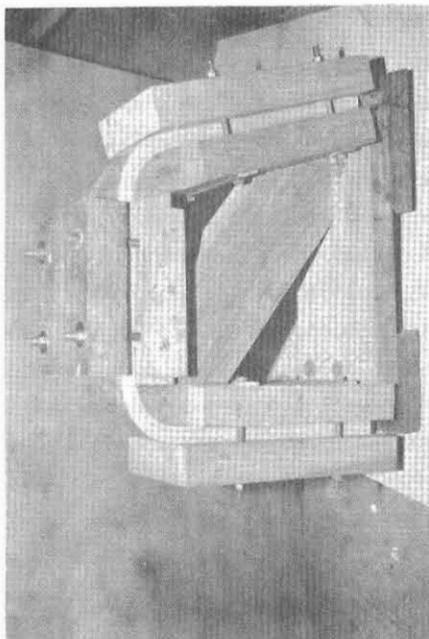


Fig. 3. Molde para a construção do pé da cadeira.

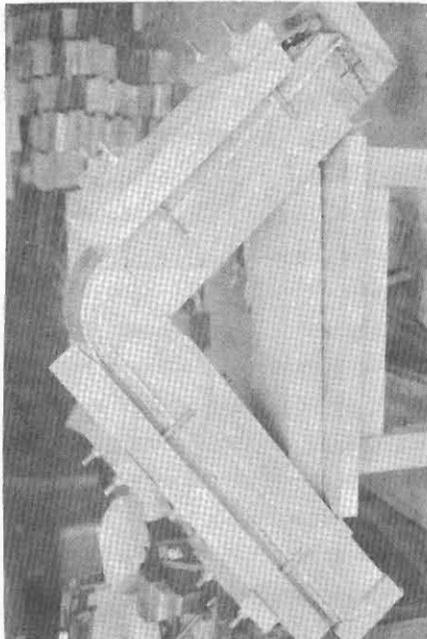


Fig. 4. Molde para a construção da peça de apoio do encosto da cadeira.

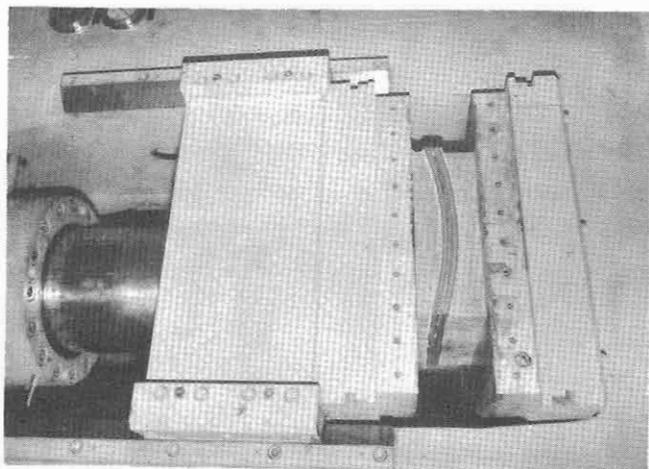


Fig. 5. Prensagem do assento e encosto da cadeira.

## Referências bibliográficas

- Branco, A. A. - 1983. Para uma maior compatibilização. In: **Madeira Móveis**. São Bento do Sul/FETEP. p. 22.
- Bonsiepe, G. (ed.) - 1984. **Metodologia Experimental: Desenho Industrial**. Brasília/CNPq. p.9.
- Candilis, G. - 1981. **Muebles Thonet**. Barcelona, Ed. Gustavo Gili.
- Capron, J. H. - 1963. **Wood Laminating** Mcknight Publishing Co. Bloomington.
- Donnay - 1983. **Informations Techniques**.
- IBDF - 1983. **Madeiras da Amazônia: Características e Utilização**. Brasília, CNPq.
- Kesley, J. - 1981. **Fine Woodworking: Design book two** Newtown, Conn. The Taunton Press.
- Koch, P. - 1972. Utilization of the Southern Pines. v. II. Processing. USDA. Forest Service. **Agriculture Handbook** (420).
- Kollmann, F. F. P. & Côté Jr., W. A. - 1968. **Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood**. New York, Springer-Verlag.
- Luxford, R. F. & Krone, R. H. - 1946. **Laminated Oak Frames for a 50 - Foot Navy Motor Launch Compared to Steam-Bent Frames**. USDA. Forest Service.
- Meilach, D. Z. - 1981. **Woodworkings, the New Wave**. New York, Crown Publishers.
- Peck, E. C. - 1957. **Bending Solid Wood to Form**. USDA. Forest Service.
- Ratti, C. - 1983. **Tecnologia del Legno Curvato**. Milano, Ribera Editore.
- Stevens, W. C. & Turner, N. - 1970. **Wood Bending Handbook**. England, Ministry of Technology. England.

(Aceito para publicação em 23.08.1989)

Paulo Silva Pinto (\*\*)

David Rodney Leonel Pennington (\*\*)

Claudete Catanhede do Nascimento (\*\*)

Zulmar Bonates da Cunha Neto (\*\*)

José Murilo Ferraz Suano (\*\*)

## RESUMO

Foi construído um protótipo para exemplificar o uso da madeira maciça curvada na construção de móveis com espécies da Amazônia. O trabalho foi direcionado no sentido de promover a utilização das referidas madeiras com novas possibilidades de desenho e tamanho, partindo das peculiaridades e características dos seus componentes. De um total de vinte e uma espécies estudadas, quatro sobressairam nos resultados, destacando-se a *Itaúba* na manufatura do protótipo.

## INTRODUÇÃO

O processo de curvamento de madeira maciça é conhecido desde o século XIX. Tem-se como referência histórica, mais importante na fabricação de móveis de madeira curvada, o nome de "Thonet", um fabricante alemão que entre 1850 e 1920 utilizou a madeira "*Fagus sylvatica* L." ("Faia" ou "Beech"), de várias florestas européias na construção dos famosos móveis que levam seu nome. O processo consiste em curvar a madeira com o auxílio de vapor e moldes de aço, racionalizando os métodos de produção. Circulam no mercado centenas de milhões de peças de mobiliário, hoje espalhadas pelo mundo e consideradas raridades por colecionadores (Fig. 1). Esse tipo de móvel é fabricado até nos dias de hoje, e há crescente procura de matéria-prima alternativa para a sua fabricação. Muito embora o desenho de Thonet tradicional seja muito apreciado busca-se também desenvolver formas contemporâneas Branco (1983); Kesley (1981); Mellach (1981).

Dos ensaios realizados no Centro de Pesquisa de Produtos Florestais - CPPF-com madeira maciça, os corpos de provas resultaram em um conjunto de peças curvadas que inspiraram um desenho de uma peça de mobiliário, a "cadeira". (Fig. 2).

---

(\*) Projeto Financiado pela Fipeq /Banco do Brasil.

(\*\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - DPPP.

Faz-se necessário enfatizar que a finalidade específica deste trabalho foi a utilização de espécies da Amazônia como prováveis substitutas das tradicionalmente usadas em móveis de madeira maciça curvada.

## **METODOLOGIA**

### **Instrumentos**

Para aquecimento das peças o equipamento empregado para a vaporização das amostras, alvos dos ensaios de curvamento, foi o banho-maria BLUE M modelo 1130A-1. Os ensaios de curvamento realizaram-se em uma mesa.

### **Espécies Seleccionadas**

Foram estudadas peças de madeira Itaúba (*Mezilaurus itauba*) para a manufatura do protótipo apresentado. A madeira desta espécie embora em princípio muito pesada para uso na fabricação de móveis, apresenta elevada resistência e comportamento excelente durante o curvamento e no processo de "fixação da curva".

A resistência elevada da madeira garante também bom comportamento por parte dos componentes da cadeira, principalmente nas áreas críticas onde os furos para fixação dos componentes entre si criam altas concentrações de tensão. Devido a essas características e a sua grande durabilidade, a madeira de Itaúba é muito usada na construção de bancos pelos estaleiros localizados na região Amazônica. Também foram seleccionadas as espécies: Maçaranduba, Cedrorana, Fava-folha-fina.

### **Métodos Utilizados**

Após curvadas até um raio de curvatura pré-estabelecido, as peças foram immobilizadas através do dispositivo mostrado nas Figuras 3, 4 e 5. Depois de tracionado o cabo de aço entre os dois parafusos dos encostos de topo, o dispositivo foi colocado em uma câmara de aclimatização para que a peça recém-curvada esfriasse, secando até um conteúdo de umidade em torno de 12%. A peça após seca, pode ser retirada do dispositivo sem que ocorra praticamente alteração do valor do raio de curvatura da mesma. Um meio prático de saber o momento adequado para se retirar a peça do dispositivo é verificar a tensão de tração do cabo de aço. Como a peça contraí durante a secagem, o cabo de aço se afrouxa lentamente. Quando o cabo estiver frouxo o suficiente, a peça pode ser retirada.

Depois de estabilizadas em seus formatos curvos, as peças foram iniciadas em suas dimensões finais. Naquelas peças com raio de curvatura acentuados, qualquer "enrugamento superficial" foi removido através de lixamento.

## **DISCUSSÃO E RESULTADOS**

Das vinte e uma espécies estudadas para a manufatura do protótipo, no qual a Itaúba foi utilizada, Tab. 1, outras três espécies destacaram-se. A madeira Maçaranduba, embora apresentasse raios de curvatura compatíveis com as exigências do desenho do protótipo

não foi utilizada, pois além de ser extremamente pesada, durante o curvamento tende a apresentar rachaduras longitudinais, e às vezes rachaduras durante o processo de "fixação da curvatura". Estas rachaduras inutilizam a peça tanto sob o aspecto de apresentação quanto da resistência mecânica.

Além da Itaúba, pode ser sugerido utilizar também Cedrorama ou Fava-folha-fina, pois tais espécies apresentaram bom desempenho durante os ensaios de curvamento. No caso da Cedrorama seria necessário uma pré-seleção rigorosa de componentes antes de ser feito o curvamento. As peças desta madeira, com grã bastante cruzada e/ou baixo peso específico, não são apropriadas ao curvamento.

A madeira de Fava-folha-fina, embora relativamente pesada seria um ótimo substituto para a Itaúba, pois além de curvar bem e ter elevada resistência mecânica, apresenta grande estabilidade durante o processo de "fixação da curva". Não foram usadas estas últimas espécies citadas; pois, o material disponível foi insuficiente para a construção dos protótipos.

Para o mobiliário "cadeira" Figura 2, inicialmente foi escolhido subjetivamente uma dessas peças, para qual foi adotado o raio de curvatura desenhado os componentes na escala 1:3 e construídos dois modelos em escala, apresentando duas possíveis soluções uma "articulada" e outra "fixa" (Figs. 6 e 7).

A solução articulada foi abandonada por dois motivos: dificuldades em produzir o mesmo raio de curvatura com suficiente precisão em corpos de prova adicionais e pela complexidade da solução mecânica, já que as peças curvadas não podem tolerar recortes sem perda de resistência. A solução "fixa", por seu lado, em face da utilização de peças com raios de curvatura variadas, fica bem mais simples sua montagem (Fig. 2).

A Fig. 8, mostra o protótipo, constituído de sete componentes diferentes. Devido à esbelteza do conjunto, foi adotada a solução de fixação com o uso de dois eixos rosqueados com porcas e arruelas.

A concepção é de tal maneira a tomar partido da flexibilidade dos componentes de madeira curvada. O curvamento das peças que compõe as pernas do móvel apresentou problemas basicamente com peças muito grandes para a escala do trabalho (1,35cm) combinadas com raios de curvatura relativamente pequenos. Seu curvamento requereu alterações substanciais no dispositivo (Fig.5) de curvamento, além de dificuldades quanto à matéria-prima. Tendo em vista o aprendizado com madeira laminada, foi utilizada esta técnica para solucionar a construção das pernas do móvel. No entanto, para chegar a resultados satisfatórios, foram necessárias três tentativas, pois provavelmente em função das características da Itaúba, a madeira usada, a colagem com cola de uréia-formol revelou-se ineficaz. O resultado satisfatório exigiu cola de fenol-resorcionol. As pernas da cadeira foram fixadas com duas travessas espigadas e coladas. A Fig. 2 mostra o protótipo finalizado que apresentou peso final de 4,0 kg, e resistência e rigidez adequadas às finalidades propostas.

A Fig. 2, mostra o conjunto de componentes e método de montagem. Após concluída a montagem, o conjunto foi mais uma vez lixado, submetido a uma camada de selador nitrocelulose para madeira, lixado novamente e mais uma vez nova camada de selador. Após Protótipo de um móvel ...

o lixamento final com lixa 400 foi aplicado uma camada de cera incolor. Não foram feitos ensaios de resistência e durabilidade, por falta de condições nos laboratórios.

A figura 9, mostra os dois tipos de rupturas que ocorrem durante o curvamento das peças: por tração e por compressão. A ruptura por compressão, na parte côncava da peça curvada, é perceptível desde o início de propagação. Neste ponto o curvamento é interrompido e dependendo da grandeza da ruptura superficial por compressão, "enrugamento superficial", não chega a prejudicar a resistência mecânica das peças.

**Tabela 1.**

Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke
Angelim pedra	<i>Hymenolobium patraeum</i>
Assacu	<i>Hura creptans</i>
Cardeiro	<i>Scleronema micranthum</i>
Cedrorana	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>
Cumarurana	<i>Dipteryx alata</i>
Envira preta	<i>Onychopetalum amazonium</i> Freis
Fava-folha-fina	<i>Piptadenia suaveolens</i>
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i> Huber
Itaúba amarela	<i>Mezilaurus itauba</i>
Louro aritu	<i>Licaria aritu</i>
Louro gamela	<i>Nectandra rubra</i>
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>
Morototó	<i>Schefflera morototoni</i>
Muiracatiara	<i>Astronomium lecointei</i> Ducke
Mandioqueira	<i>Qualea</i> sp.
Tanibuca	<i>Buchenavia oxycarpa</i>
Tauarí	<i>Couratari oblongifolia</i>
Tauarí	<i>Couratari stellata</i>
Tauarí	<i>Cariniana integrifolia</i>

# Thonet 1858

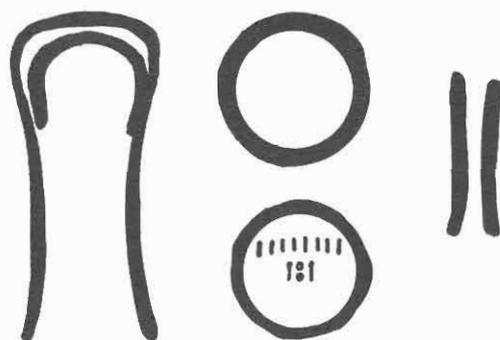
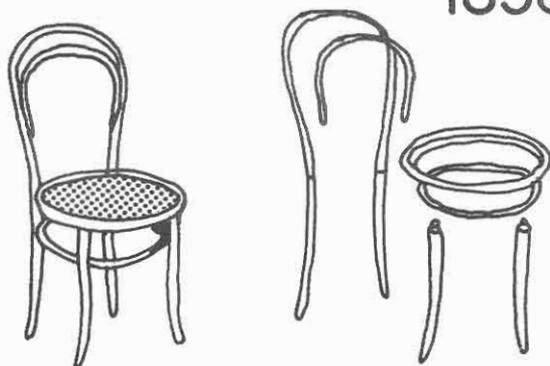


Fig. 1 - A cadeira Thonet nº 14, da qual foram vendidas mais de 50.000.000 de unidades. 36 cadeiras desmontadas ocupavam uma caixa com  $0,75 \text{ m}^3$



Fig. 2. Protótipo de móvel de madeira maciça curvaada.

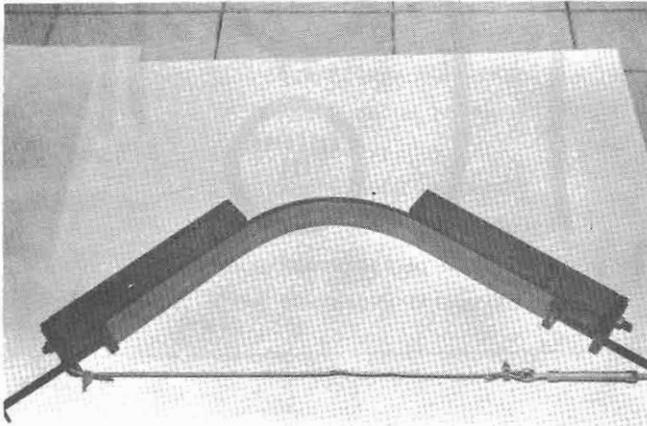


Fig. 3. Molde para a construção das pernas do protótipo da Fig.

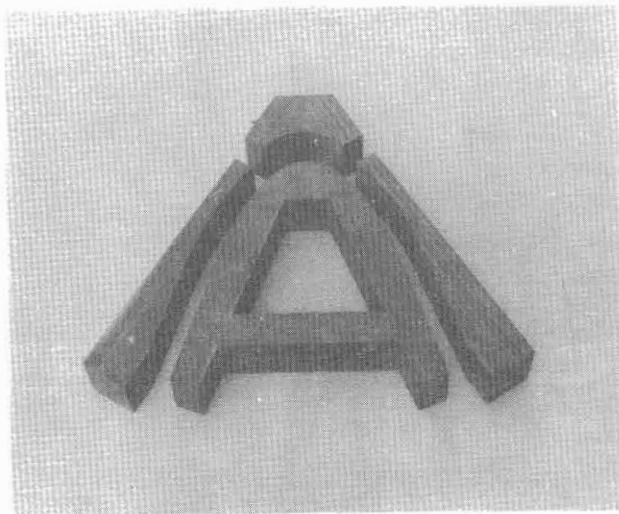


Fig. 4. Dispositivo para fixação da curvatura da peça.

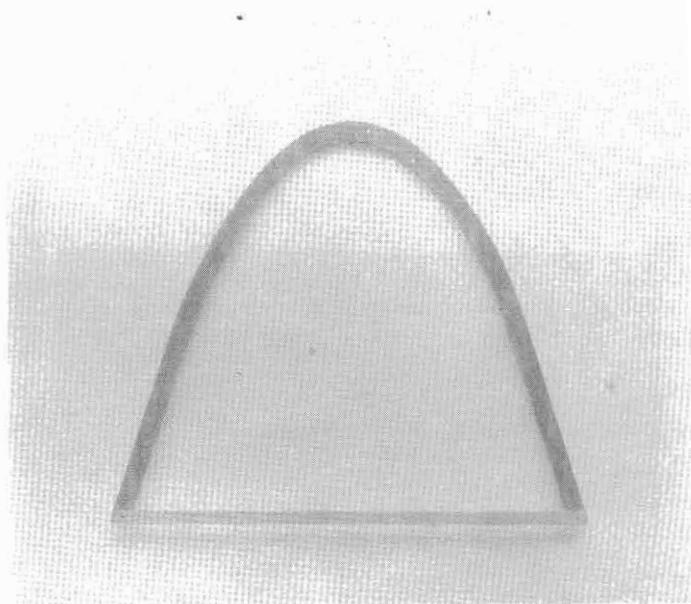


Fig. 5. Gabarito das pernas do móvel, desenhada intuitivamente e recortada em madeira compensada.

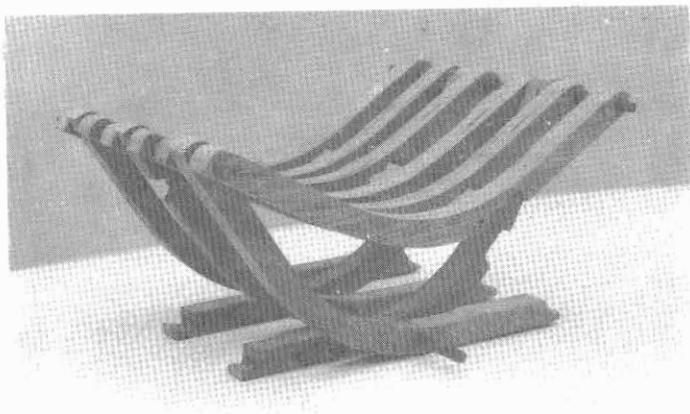
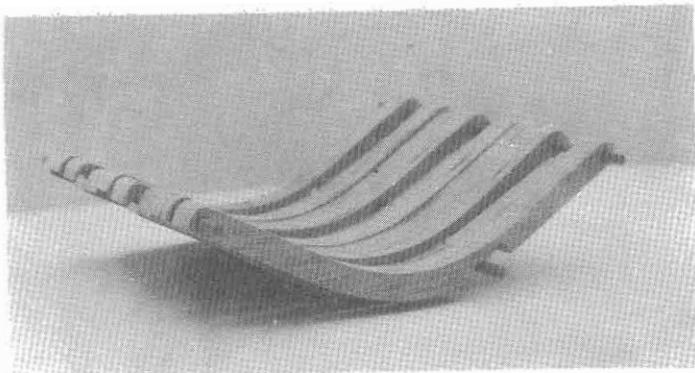


Fig. 6 (A e B). Modelo em escala 1:3 "articulado". (A) Fechado, (B) Aberto.

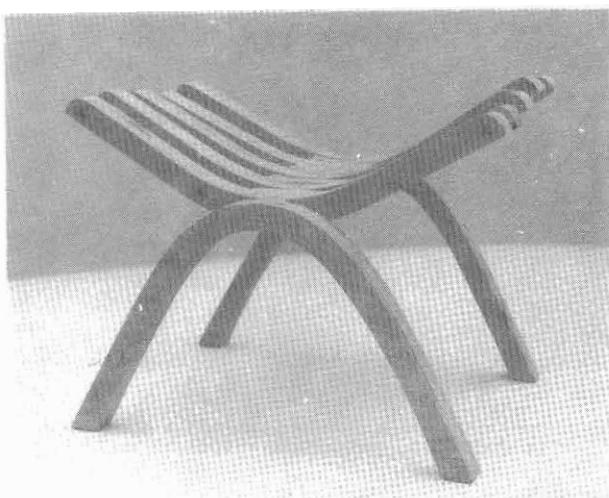


Fig. 7. Modelo em escala 1:3 "fixo".