



VERGAMENTO DE MADEIRA SÓLIDA: QUALIDADE DE PROCESSO E MATÉRIA-PRIMA

Matheus Lemos de PERES*, Darci Alberto GATTO, Rafael de Avila DELUCIS, Rafael BELTRAME

Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

*E-mail: matheusldeperes@gmail.com

Recebido em 30/08/2013; Aceito em 10/11/2013.

RESUMO: O processo de vergamento da madeira é auxiliado com a condução de pré-tratamentos, que têm por objetivo controlar os principais parâmetros de qualidade da madeira requeridos para a eficiência da técnica. Tais parâmetros relacionados as características químicas e anatômicas da madeira podem ser manipulados pela definição de valores de temperatura e teor de umidade compatíveis com os procedimentos necessários. Assim, um critério importante está relacionado à escolha da espécie madeireira a ser utilizada com base em suas propriedades anatômicas, químicas e físicas que influenciam diretamente na qualidade final do produto processado, bem como questões de preparo de material como armazenamento e usinagem adequados. Nesse sentido, no meio industrial principalmente do Brasil, o que se verifica é que são desconhecidos os conceitos a respeito dessas práticas necessárias para um vergamento eficiente. Vários trabalhos foram conduzidos principalmente no meio científico internacional a fim de elucidar esses mecanismos, evidenciando que o conjunto de ações de seleção das peças destinadas ao vergamento, bem como a definição das práticas direcionam o processo para a obtenção de resultados satisfatórios.

Palavra-chave: qualidade da madeira, curvamento, defeitos.

SOLIDWOOD BENDING: PROCESS AND RAW MATERIAL QUALITY

ABSTRACT: *The solid wood bending process is aided with the use of pre-treatments, which aims to control the main wood quality parameters required for technique efficiency. Such parameters related with anatomic and chemistry properties of woods, may be handled by establishing temperature and moisture content values compatible with the needed proceedings. In this context, an important factor is associated with choosing of timber species to be used, based on its anatomical, chemical and physical properties that directly influence the quality of the final processed product, as well as raw material preparing issues known as storage and milling. Thus, in the industrial environment mainly from Brazil, what is observed the lack of knowledge of concepts about these practices necessary for efficient bending of woods. Several studies have been conducted in the international scientific environment in order to elucidate these mechanisms, showing that the selection of wood for the bending, as well as the definition of practices route the process for obtaining satisfactory results.*

Keywords: *wood quality, curving, defects.*

1. INTRODUÇÃO

A madeira vergada foi utilizada para a produção de armas como arco e flecha e atualmente é empregada na produção de móveis, peças estruturais de barcos, construções, entre outros. As técnicas de vergamento de madeira tiveram como precursor Michael Thonet, um austríaco que desenvolveu processos inovadores de flexão de madeira maciça, ganhando rapidamente notoriedade pela proposta de uma revolução na produção de móveis, introduzindo novidades no design e tornando as peças produzidas mais leves e elegantes (GATTO, 2006).

Em 1908, Jorge Gerdau introduziu no Brasil a técnica proposta por Thonet, aliando melhorias tecnológicas como a utilização de processos de vaporização e

cozimento como pré tratamentos, gerando os subsídios para a consolidação da produção de móveis vergados no setor industrial nacional (PECK, 1957; STEVENS; TURNER, 1970; GATTO et al., 2008; VON ZUBEN, 2010).

Antes da técnica de vergamento, a obtenção de peças curvas de madeira, por necessidade e por falta de conhecimento de um processo consolidado, era obtida fundamentalmente pela procura de peças naturalmente tortuosas encontradas nas florestas, resultantes de resposta a esforços externos ou indução natural desses esforços ao estado curvo (BURGER; RICHTER, 1991).

Além da condição de crescimento, há a obtenção de peças curvas por processos de usinagem. Nesse processo

a madeira é serrada, plainada ou lixada até que a forma curva seja alcançada. A usinagem produz grandes perdas de material e peças não tão resistentes quanto as vergadas. Diante dessa problemática, o processo de vergamento surge como solução para a obtenção de peças curvas com redução de custos e adição de rigidez e resistência mecânica à madeira (STEVENS; TURNER, 1970).

Na atualidade, o processo de vergamento na indústria brasileira é bastante comprometido pelo desconhecimento dos fatores que interferem na qualidade do processo e da matéria prima resultante como maquinário inadequado, pré-tratamentos ineficientes, escolha incorreta da espécie madeireira, entre outros (GATTO et al., 2008). Tendo em vista a variabilidade dos fatores que interferem no sucesso da obtenção de peças vergadas, o presente estudo traz uma revisão de literatura daqueles relacionados às características tecnológicas da madeira.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Processo de vergamento

Por meio de processos de usinagem podem ser confeccionadas peças de madeira curvas. Entretanto, peças sinuosas de madeira são obtidas pelo vergamento em detrimento de processos de corte a fim de promover a manutenção da resistência mecânica, obtidas pelos maiores raios de curvatura, os quais tornam desnecessários demais processos de retirada de material por usinagem, aumentando a atratividade econômica do procedimento (STEVENS; TURNER, 1970). Nesse processo a peça de madeira em estado natural, com teor de umidade do estado verde e sem prévio tratamento pode ser vergada sem ocorrência de falhas, até certos limites, dependendo da espécie utilizada (GATTO et al., 2008).

No processo de flexão da madeira, bem como de quaisquer outros materiais elásticos é usual supor que seções transversais infinitesimais permanecem planas e normais ao sentido longitudinal da peça vergada. Assim, como mostra a Figura 1, qualquer seção transversal da peça na direção do raio de curvatura representará um quadrado ou retângulo perfeito, ou para peças cilíndricas, um círculo perfeito, sem apresentar quaisquer deformações geométricas pela projeção da mesma em duas dimensões (MARTHA, 2008).

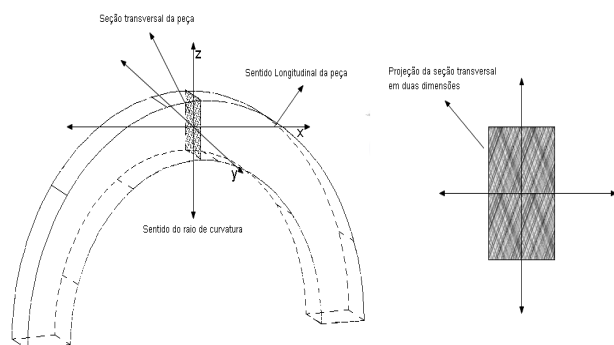


Figura 1. Seção transversal de uma peça em flexão e projeção em duas dimensões.

Considerando que essa condição seja seguida, tem-se que no vergamento as dimensões lineares das faces convexas e côncavas da amostra não são mais idênticas em tamanho (STEVENS; TURNER, 1970). Ocorre que na face côncava da peça há predominância em esforços

compressivos, resultando no encurtamento ou entrelaçamento das fibras dessa região, já na face convexa há tensão de tração das fibras, gerando invariavelmente um comprimento maior da face externa da peça em relação à interna.

No vergamento objetiva-se comprimir as fibras abaixo da linha neutra (face côncava) e acompanhar o estiramento das fibras do lado oposto (face convexa), proporcionando a curvatura da peça sem que a mesma se rompa. São utilizados vários dispositivos para garantir que isso aconteça. Dentre os estudados por Stevens; Turner (1970), o que mostrou maior eficiência na realização do trabalho proposto foi a utilização de uma cinta de tensão ou cinta de antitração, acompanhada de apoios de extremidade.

Segundo Von Zuben (2010), no processo de vergamento devem ser superadas as dificuldades advindas da interação da lignina no lenho, buscando uma metodologia para amenizar os problemas quanto à qualidade do produto final do vergamento. Os métodos possíveis são os pré-tratamentos da madeira, tendo como mais comuns a vaporização e o cozimento. Esses consistem na aplicação de calor e umidade nas peças de madeira a fim de potencializar essa plasticização da lignina e facilitar o sucesso do processo (GATTO et al., 2008).

Com relação a linha neutra de tensões, que considerando-se um material homogêneo é localizada na metade de seção transversal da peça e disposta na direção longitudinal, o processo de vergamento em função do tipo de pré tratamento empregado altera a posição dessa linha. Segundo (VORREITER, 1958) apud Gatto et al. (2008), com a plasticização da madeira é possível atingir maiores valores de dilatação de ruptura, pois na flexão de uma peça, as tensões são máximas nas superfícies, sendo a maior tensão de tração no lado convexo e maior tensão de compressão no lado côncavo. Com o amolecimento da lignina e conseqüentemente da madeira, a linha neutra encontrada naturalmente próxima ao centro da peça, desloca-se levemente para o lado convexo.

A Figura 2 apresenta a esquematização do comportamento da peça no instante do vergamento, o qual indica um deslocamento da linha neutra, proporcionado pelo pré-tratamento da madeira.

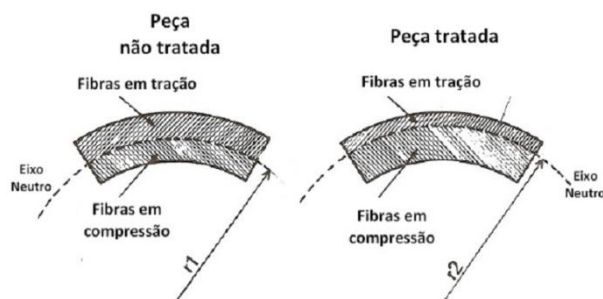


Figura 2. Linha neutra em função do pré-tratamento térmico empregado. Fonte: Von Zuben (2010).

Sabe-se que próximo à linha neutra os esforços de tração e compressão tendem a ser nulos. Dessa forma, após a plasticização da madeira e durante a flexão, com o deslocamento da linha neutra para o lado convexo, predominam as tensões de compressão na madeira,

consequentemente ocorre a minimização das tensões de tração (BEER; JOHNSTON, 1995).

A madeira após o pré-tratamento torna-se plástica, ou seja, quando submetida à aplicação de forças de vergamento, após um curto período ultrapassa a zona elástica, a qual as tensões e deformações são proporcionais e entra na zona plástica, onde permanece por um tempo mais significativo, sendo que nessa região da deformação o corpo de prova já apresenta já não volta a seu formato original (STEVENS; TURNER, 1970).

2.2. Influência dos defeitos naturais no processo de vergamento da madeira

Dentro do processo de vergamento quaisquer defeitos na madeira são indesejáveis. Os defeitos mais facilmente encontrados são inclinações de grã, ocorrência de nós, presença de sinais ou rastros de ataques de organismos xilófagos (BURGER; RICHTER, 1991).

Segundo Vorreiter (1958), além da qualidade da madeira outros aspectos vinculados ao procedimento podem ocasionar defeitos. De acordo com este autor, os defeitos resultantes do vergamento da madeira são:

a) Esmagamento: ocorre no lado côncavo por causa da curvatura exagerada que ultrapassa o coeficiente de flexionamento. Origina-se pela presença de pequenos fendilhamentos superficiais da peça, antes do flexionamento;

b) Dobra transversal: aparece normalmente no lado de compressão e, às vezes, nos flancos. É consequência do pré-tratamento em temperaturas muito elevadas, tempo de tratamento muito longo e raio de curvatura pequeno;

c) Cisalhamento longitudinal: aparece nas proximidades da linha neutra. Esse defeito ocorre quando o raio de vergamento é exagerado ou quando os apoios dos extremos da peça não estão firmes;

d) Fendas transversais: ocorre no lado de tração, alcançando até um terço da profundidade total da peça. São ocasionados por causa da pressão insuficiente dos apoios e da cinta de flexão;

e) Estilhaço: surge no lado de tração em consequência do posicionamento oblíquo das fibras, da utilização de coeficiente de flexionamento alto ou excesso de velocidade de trabalho. Ocorre após a retirada da cinta de flexão;

f) Ruptura perpendicular: ocorre mais em madeira rígida, mas aparece também em madeiras plásticas quando não-tratadas suficientemente. Raio de curvatura pequeno e velocidade alta de flexionamento também favorecem o aparecimento desse defeito;

g) Fendas de secagem: por causa da secagem inadequada após o flexionamento. Podem ser diminuídas ou até evitadas quando a peça é seca lenta e cuidadosamente, em temperaturas inferiores a 90°C.

A Figura 3 apresenta os defeitos de processo elencados que ocorrem no vergamento em razão da qualidade inadequada da peça de madeira utilizada.

Dentre os defeitos naturais da madeira mais evidenciados está a irregularidade da grã, que afeta substancialmente o mecanismo de deformação de peças submetidas à flexão. Os mesmos autores afirmaram que a presença desse defeito não necessariamente ocorre ao redor do nó, como também em várias situações originadas por fatores genéticos ou pela resposta a esforços externos.

Dessa forma, a madeira que apresenta grã irregular tende a responder de forma instável e inesperada quando solicitada mecanicamente, apresentando diferente comportamento do encontrado na literatura de modo geral para testes de vergamento (BURGER; RICHTER, 1991).

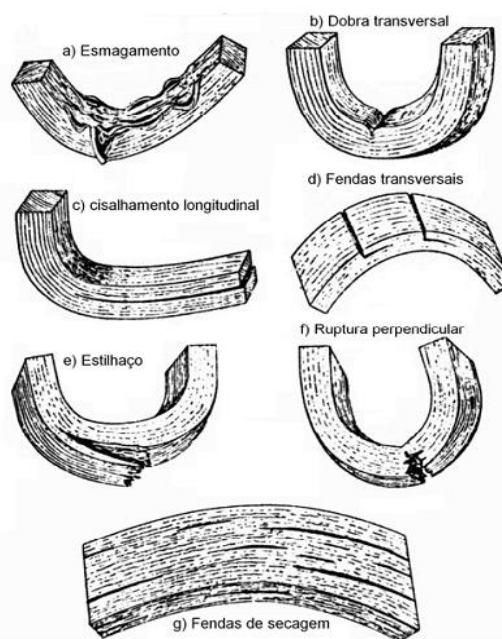


Figura 3. Principais defeitos ocasionados no processo de vergamento da madeira. Fonte: Vorreiter (1958).

Para Vorreiter (1958) é necessário que haja um alinhamento da grã ao longo da peça para que as faces de compressão e tração plasticizadas possam proporcionar o entrelaçamento das fibras (compressão) e o estiramento das mesmas (tração), deformando-se uniformemente. Em uma situação onde a peça vergada não apresenta suas fibras alinhadas, o corte da peça secciona a continuidade da grã não somente no plano transversal, como também em sua face tangencial.

Ainda tendo em vista a angulação de grã, Schleining (2002) e Benson (2008), ratificaram que peças com fibras retas e paralelas às suas linhas longitudinais e as peças com a ausência de defeitos, são preferíveis para o trabalho de vergamento. A Figura 4 apresenta um exemplo esquemático de inclinação de grã, além da indicação do ângulo que deve ser analisado.



Figura 4. Peça de madeira com defeito de desvio de grã. Em que: a = ângulo da grã.

Para Von Zuben (2010) os pontos de fragilidade gerados por irregularidades como nós e fendas ou discontinuidades na superfície da grã propiciam o início de fraturas mesmo quando as tensões impostas à peça não atingem o valor do limite de proporcionalidade. Conforme Burger; Richter (1991), a ocorrência de nós é descrita como a base de inserção de um ramo que possui duas zonas: uma viva, onde o nó ainda apresenta interação fisiológica com a árvore através da união das fibras, e

outra zona morta, onde o galho morreu e deixou de participar do desenvolvimento do tronco.

Portanto, os nós nas peças de madeira a serem vergadas devem ser evitados como medida para amenizar a perda de peças gerada por falhas durante o vergamento. Porém como nem sempre há esta possibilidade, assim uma medida que pode ser tomada é o posicionamento do nó no lado de tração da peça, ou seja, orientar a peça de forma que o nó fique colocado na parte convexa da peça vergada, outra forma de minimizar esses problemas é o corte da peça de forma que o nó fique em posição próxima à linha neutra de flexão (VON ZUBEN, 2010).

Outro defeito ocorrente na madeira é a presença de lenhos de reação, ocasionada entre outras razões, pelo crescimento excêntrico, conferindo a madeira alta instabilidade dimensional ao longo da grã, além da anormal alta massa específica combinada com uma baixa resistência mecânica (COSTA, 2001).

A ocorrência de lenhos de reação em determinadas peças de madeira ocasiona um desequilíbrio entre os principais componentes da madeira, isso é, celulose, hemicelulose e lignina, que pode ser observado pelas diferenças nas colorações da madeira defeituosa (BURGER; RICHTER, 1991). Segundo Costa (2001), esse tipo de defeito não é notado facilmente, sendo que uma das características do lenho de tração, ocorrente nas folhosas é a alta concentração de celulose e quase desaparecimento de lignina, proporcionando um efeito chamado de células gelatinosas, conferindo uma coloração branco-prateada.

O desequilíbrio entre esses componentes, causado pela ocorrência de lenhos de reação, juntamente com má condução do programa de secagem podem ocasionar rachaduras na peça. Vorreiter (1958) citou como uma das causas para o aparecimento da falha do tipo esmagamento a presença de rachaduras ou fendilamentos superficiais na peça antes do vergamento, tais rachaduras superficiais ocorrem a partir da separação transversal de fibras.

A Figura 5 apresenta rachaduras superficiais, ocasionadas pela exposição da peça a contínuos ciclos de umedecimento e secagem, característicos de uma peça exposta a intempéries ou secagem ao ar livre, que podem também aparecer no vergamento. Do ponto de vista individual da fibra, o defeito ocorre em resposta à esforços proporcionados por tensões internas, que são refletidos por espaçamentos superficiais notados entre as fibras. Outra situação ocorrente é a separação das fibras pela presença de lenho de reação, além enfraquecimento e distanciamento da ligação entre fibras pelo baixo teor de lignina (fendilhamento superficial).



Figura 5. Fendilhamento superficial da madeira.

2.3. Influência da anatomia da madeira no processo de vergamento

A presença de certas estruturas de organização ou componentes anatômicos são de grande importância na qualidade da madeira para o vergamento. Esses componentes determinam o grau de flexibilidade da madeira. A alta plasticidade de algumas madeiras as permite dobrarem-se de forma plástica sem que sejam produzidos fenômenos de ruptura, estilhaços, etc. Essa característica é mais marcante em espécies de estrutura homogênea, anéis de crescimento bem distribuídos, de textura fina a mediana, e em particular com grã direita, fibras longas e de boas proporções de parênquima, por outro lado madeiras muito coloridas, resinosas ou muito duras possuem escassa flexibilidade (COZZO, 1956).

De forma geral madeiras de coníferas apresentam um vergamento pior do que as de folhosas. Para Kollmann (1951), isso se explica porque nas coníferas a diferença de massa específica e do coeficiente de flexionamento entre os lenhos inicial e tardio impedem a distribuição uniforme das tensões no perfil da peça, o que origina problemas de vergamento. Conforme o mesmo autor, a porosidade em anel, de algumas folhosas, possibilita que a madeira seja vergada de melhor forma do que a porosidade difusa.

Outro fator discutível relacionado à anatomia é o vergamento de madeira de cerne e alborno. Em seus respectivos trabalhos, Kollmann (1951), Vorreiter (1958) e Buchter et al. (1993) citaram que não há diferenças expressivas no flexionamento da madeira de cerne e alborno. Nesse sentido, para esses autores, no vergamento deve-se preferencialmente posicionar a madeira de cerne do lado de compressão, por tratar-se de madeira madura e pouco resistente à tração.

A diferença de qualidade de vergamento apresentada entre os lenhos juvenil e adulto é verificada por Gatto et al. (2008). Os autores obtiveram melhores resultados de vergamento com peças de lenho juvenil em comparação com peças de lenho adulto e citaram que práticas silviculturais são necessárias para que a proporção de lenho adulto seja suprimida. Para os mesmos autores o número de anéis de crescimento por polegada não afetou a qualidade do vergamento.

2.4. Influência das propriedades físicas da madeira no processo de vergamento

Em seu estudo, Peres (2011) encontrou menor incidência de defeitos para a madeira de *Eucalyptus grandis* em faixas superiores de massa específica básica. Como fatores que influenciam na variação da massa específica podem ser citadas propriedades anatômicas como: dimensões das fibras, espessura da parede celular e quantidade de vasos (BURGER; RICHTER, 1991).

Entretanto, fatores não inerentes à madeira também podem influenciar na sua massa específica, são eles a origem da semente, as condições edafoclimáticas e o sistema de implantação e condução da floresta (PASHIN; DE ZEEUW, 1980). Além desses fatores, a massa específica ainda varia significativamente de acordo com a taxa de crescimento, local de origem, espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, entre espécies, entre árvores da mesma espécie, dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978; TOMAZELLO FILHO, 1985).

No processo de vergamento é necessário que haja o umedecimento da madeira para que a plasticização ocorra de forma bem sucedida, sendo que o aumento da massa específica pode influenciar de forma positiva na retenção de água na parede celular, a qual entra em contato com a lignina da lamela média de forma mais fácil do que a água de capilaridade (TSOUMIS, 1991; ROCHA, 2000). Dessa forma, a justificativa para que maiores valores de massa específica sejam desejáveis para o vergamento é a melhor interação entre a umidade adicionada no pré-tratamento e a lignina a ser plasticizada e, dessa forma, o controle do teor de umidade principalmente abaixo do ponto de saturação das fibras é crucial para a eficiência do procedimento.

Após o vergamento há de se conduzir a secagem das peças flexionadas de forma menos agressiva possível. Segundo Klitzke (2008), o processo de secagem típico para a madeira de *Eucalyptus* sp. emprega baixas temperaturas, o que implica em longos tempos de secagem e menor incidência de defeitos como: rachaduras, empenamentos de diferentes formas, gradientes de umidade, colapso, tensões de secagem e endurecimento superficial.

A ocorrência de rachaduras está intimamente relacionada com a variação dimensional da madeira. A determinação do coeficiente de anisotropia é um importante índice no estudo das retrações, uma vez que quanto mais elevado, maior é a probabilidade de formação de fendas (rachaduras) e empenamentos na madeira. Dessa forma, torna-se necessária a avaliação da retratibilidade da madeira, como forma de prever rachaduras superficiais nos momentos subsequentes ao vergamento.

A magnitude da variação dimensional é normalmente maior na madeira de maior massa específica devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume, tal comportamento relaciona-se com o vergamento, pois a variação dimensional é indesejável no vergamento, podendo alterar a forma do corpo de prova durante o processo de plasticização (TSOUMIS, 1991; ROCHA, 2000).

A importância do teor de umidade para o vergamento é explicada pela forma como ocorre a plasticização da madeira, ou seja, a madeira torna-se plástica com a adição de calor e aumento de umidade. De acordo com Peck (1957), satisfatoriamente 20 a 25% de umidade são utilizados, se a madeira já possui essa quantidade de água, é necessária apenas a aplicação de calor. Entretanto, se a peça de madeira estiver com teor abaixo do citado, deve-se proceder à adição de umidade, seja através de pré-tratamentos, principalmente nas partes superficiais. Para vergamentos leves, 15% de umidade é aceitável, porém, para vergamentos mais agressivos, 20 a 25% é o ideal, não sendo necessárias adições superiores, apenas com reforço superficial de umidade.

Segundo Vorreiter (1958) para peças secas ao ar, com teores de umidade entre 15 e 20% a plasticização pode ser feita por cozimento ou simples imersão em água quente, com tempos de imersão dependendo da espécie, de 12 a 15 minutos por centímetro de espessura. Entretanto, para United States Department of Agriculture – USDA (2010), o teor de umidade inicial da madeira pode influenciar no tempo de cozimento, sendo recomendados 15 minutos por

centímetro de espessura para teores de umidade entre 20 a 25 % e 30 minutos por centímetro de espessura para teores de umidade inferiores.

De acordo com Peck (1957), para teores de umidade entre 20 a 25% não é necessária a adição de mais umidade mesmo para vergamento severos, para vergamentos moderados um teor de umidade de 15% é provavelmente suficiente. O mesmo autor ainda citou que para tornar plástica o suficiente uma peça seca é necessário que haja a adição de umidade durante o processo de aquecimento, para madeiras secas devem ser adicionadas umidade e calor, entretanto para madeira úmida é necessário apenas o aquecimento para suceder a plasticização da madeira.

3. CONCLUSÕES

O procedimento de vergamento torna-se viável no meio industrial quando controlados os parâmetros que influenciam em sua eficiência. Com a consolidação do processo a madeira vergada pode ser aplicada em forma de peças de cadeiras, mesas, móveis decorativos e peças estruturais de embarcações;

Práticas silviculturais são de grande importância para a redução de defeitos de ocorrência natural como a inclinação de grã, a incidência de nós e a proporção de lenho juvenil, os quais após o desdobro influenciam diretamente nos defeitos de vergamento;

Os principais parâmetros a serem quantificados para prever a qualidade do tratamento são a temperatura e o teor de umidade da madeira. A faixa ótima para teor de umidade é de 20 a 30%, não sendo necessária a adição de mais umidade desde que a temperatura dentro do sistema de cada tratamento, próxima à de ebulição da água (~100°C), seja mantida.

Para a definição de critérios de seleção de peças para o vergamento, a escolha da espécie a ser utilizada e a inibição de defeitos inerentes à madeira representam uma parcela significativa a fim de promover a diminuição da ocorrência de falhas de vergamento. Nesse sentido, espécies com presença de porosidade em anel, grã direita, maior proporção de lenho juvenil, e ausência de nós são preferíveis.

4. REFERÊNCIAS

- BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. 1255 p.
- BENSON, J. **Woodworker's Guide to Bending Wood**. Petersburg: Fox Chapel Publishing, 2008. 179 p.
- BUCHTER, J. et al. **Introduction to Compressed Wood. Department of wood and furniture**. Denmark: Compwood Machines, 1993. 33 p.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- COSTA, A. **Coletâneas de anatomia da madeira**. Joinville: UDESC, 2001. 154p.
- COZZO, D. **Como utilizar la madera de los árboles cultivados**. Buenos Aires: Cosmopolita, 1956. 219 p.

- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoria da densidade básica da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 1-14, jan./dez. 1978.
- GATTO, D. A. **Características tecnológicas do vergamento das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídios para o manejo florestal**. 2006. 109 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- GATTO, D. A. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* quando submetidas ao vergamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria v. 18, n. 1, p. 121-131, jan./mar. 2008.
- KLITZKE, R. J. **Secagem da Madeira**. Curitiba: UFPR, 2008, 119 p.
- KOLLMANN, F. **Technologie des holzes und der holzerkstoffe**. Berlin: Springer Verlag., 1951. 1050 p.
- MARTHA, L. F. **Métodos básicos da análise de estruturas**. Rio de Janeiro: Campus, 2010. 318 p.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4. ed. New York: Mc-Graw-Hill, 1980. 722 p.
- PECK, E. C. **Bending solid wood to form**. **Agriculture handbook No.125**. Washington: USDA, 1957. 39 p.
- PERES, M. L. **Qualidade da madeira vergada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 2011. 57 f. Monografia (Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- SCHLEINING, L. **The Complete Manual of Wood Bending**. Fresno: Linden Publishing, 2002. 208 p.
- STEVENS, W. C., TURNER, N. **Wood Bending Handbook**. East Petesburg: Fox Chapel Publishing, 1970. 109 p.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Wood as an engineering material**. Washington: Forest Service, 2010. 509 p.
- VON ZUBEN, D. L. **Desenvolvimento de processo de fabricação por vergamento de madeira maciça**. 2010. 46 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco, Campinas, 2010.
- VORREITER, L. **Holztechnologischeshandbuch**. München: Verlag Georg Fromme & CQ, 1958. 646 p.