

Avaliação do vergamento da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* pela técnica de vaporização

Bending evaluation of Acrocarpus fraxinifolius wood by the vaporization technique

Rodrigo Daniel da Silva Oliveira 

Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim 

Alexandre Jorge Duarte de Souza 

André Luis Christoforo 

Júlio Cesar Molina 

Resumo

A técnica de vergamento da madeira por vaporização se apresenta como opção viável para projetos de estruturas curvilíneas, como as *gridshells*. Madeiras coníferas são comumente adotadas em estruturas de cobertura, pois além da desejada relação entre resistência mecânica e densidade, permitem o completo tratamento da seção transversal da peça. Entretanto, características como a predominância de alburno ou de cerne e a presença de defeitos são variáveis que afetam o desempenho estrutural. O objetivo deste estudo foi avaliar o limite de vergamento de lamelas de *Acrocarpus flaxinifloius* (cedro indiano) com raio de curvatura de 21 cm em diferentes espessuras. Também se investigou o impacto da predominância de alburno ou cerne e da presença de defeitos na força de vergamento. A literatura indica que a flexibilização plástica por vapor ocorre a 100 °C, com 2,4 minutos para cada milímetro de espessura da lamela, parâmetros estes considerados neste estudo. A análise estatística indicou o limite de 8 mm de espessura para o vergamento das lamelas e a maior presença de alburno ou de cerne, bem como os defeitos da madeira, não afetou significativamente a força de vergamento.

Palavras-chave: Flexibilidade da madeira. Curvatura de lamelas. Cerne da árvore. Alburno.

Abstract

*The technique of bending wood by vaporization presents itself as a viable option for curvilinear structural projects, such as gridshells. Coniferous woods are often used in roof structures because, in addition to the desired relationship between mechanical strength and density, they allow the complete treatment of the cross-section of the piece. However, characteristics such as the predominance of sapwood or heartwood and the presence of defects are variables that affect structural performance. The aim of this study was to evaluate the bending limit of *Acrocarpus flaxinifloius* (Indian cedar) veneers with a bending radius of 21 cm at different thicknesses. The impact of the predominance of sapwood or heartwood and the presence of defects on the bending strength was also investigated. The literature indicates that plastic flexibilization by steam occurs at 100 °C, with 2.4 minutes for each millimeter of lamella thickness, which were the parameters considered in this study. The statistical analysis indicated a thickness limit of 8 mm for the lamellae to bend and the greater presence of sapwood or heartwood, as well as wood defects, did not significantly affect the bending force.*

Keywords: Flexibility of wood. Curvature of lamellae. Heartwood. Sapwood.

¹Rodrigo Daniel da Silva Oliveira

¹Universidade Estadual Paulista
Itapeva - SP - Brasil

²Pedro Ignácio Lima Gadêlha
Jardim

²Universidade Federal de Rondônia
Porto Velho - RO - Brasil

³Alexandre Jorge Duarte de
Souza

³Universidade Estadual Paulista
Itapeva - SP - Brasil

⁴André Luis Christoforo

⁴Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP - Brasil

⁵Júlio Cesar Molina

⁵Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 19/09/23

Aceito em 27/10/23

Introdução

A ancestral técnica de vergamento da madeira, tradicionalmente usada na confecção de cestos e barcos, consiste na flexão da madeira, naturalmente plástica, mantendo-a na forma desejada sob força externa. O tratamento térmico revolucionou a flexibilidade da madeira, que antigamente dificultava a dobra de peças de pequenos raios de circunferência.

Algumas diferentes técnicas são empregadas em elementos estruturais de madeira para se realizar seu vergamento. Molina *et al.* (2020) construíram uma estrutura do tipo *gridshell* em madeira, do tipo pós-formada (curvatura da estrutura é obtida por meio do vergamento dos seus elementos retilíneos), utilizando o umedecimento da madeira por meio de aspersores e mangueiras para possibilitar seu vergamento. Para isso, utilizaram a madeira Lyptus (madeira híbrida de *Eucalyptus gradis* e *Eucalyptus urophylla*), com densidade aparente de 0,954 g/cm³, para compor as ripas da malha do *gridshell*, com uma espessura de 15 mm. A curvatura da referida estrutura foi obtida pelo umedecimento da madeira e tensionamento nas diagonais, onde a relação entre a espessura da ripa e o raio de curvatura do semicírculo foi de 1:100 (Figura 1). Neste estudo, os autores destacam a importância da escolha de espécies de madeira com baixa relação do módulo de elasticidade com sua resistência à flexão para garantir a curvatura desejada.

A madeira é um material capaz de se deformar significativamente dentro do regime plástico, quando submetida à esforços de flexão, até sua ruptura, sendo esse o comportamento mecânico desejado no processo de vergamento (Gatto, 2006; Peres *et al.*, 2015). Para a realização adequada do vergamento, a vaporização é uma alternativa que visa auxiliar na maior flexibilidade da madeira, possibilitando vergá-la a níveis de tensões inferiores aos níveis desenvolvidos apenas pela ação mecânica de forças, além de exigir um menor consumo de energia calorífica (Peres *et al.*, 2015).

Ainda, Aramburu *et al.* (2022) realizaram um estudo onde puderam observar o efeito de diferentes técnicas de tratamento (fervura, vaporização e radiação por micro-ondas) na qualidade do vergamento da madeira. Nessa investigação, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao raio mínimo de curvatura, grau de qualidade e quantidade de falhas da madeira. Desse modo, a vaporização é uma técnica considerada adequada e comumente adotada para esse tipo de utilização da madeira.

Entretanto, existem diferentes técnicas de vaporização utilizadas para vergamento de madeira na literatura. Uma avaliação do comportamento de elementos vergados por vaporização de diferentes espécies de madeira foi realizada por Ratnasingam *et al.* (2022). O processo de vaporização ocorreu por 45 minutos, com uma temperatura de 105 °C. Foram utilizadas quatro espécies de madeira, com densidade aparente variando de 0,31 g/cm³ à 0,69 g/cm³ e uma relação de espessura da lamela e raio de curvatura de 1:10. Os autores observaram que a densidade aparente da madeira vaporizada possui influência no vergamento do elemento, onde a madeira de menor densidade (0,31 g/cm³) se mostrou inadequada para o processo, perdendo sua curvatura de forma mais acentuada com o passar do tempo.

Conforme os estudos encontrados, o método de plastificação por vaporização trabalha normalmente com vapor a uma temperatura entre 95 °C e 100 °C (Gašparík; Gaff, 2013). A utilização de temperaturas elevadas pode alterar as características físico-químicas da madeira, conforme apontado por Aydin e Colakoglu (2008), e redução de sua resistência a flexão, conforme observado por Esteves *et al.* (2007). No estudo de Rasdianah *et al.* (2018), o tratamento com temperaturas acima de 200 °C ocasionaram diminuição no módulo de elasticidade e de ruptura.

Figura 1 - *Gridshell* em madeira - curvatura do tipo pós-formada



Fonte: Molina *et al.* (2020).

O tempo de vaporização foi analisado por Aramburu *et al.* (2022), variando entre 45 minutos e 60 minutos a 100 °C. Neste estudo foram adotados elementos com 12 mm de espessura, resultado em um tempo de vaporização de 3,75 e 5 minutos, respectivamente, para cada milímetro de espessura da madeira. Os autores observaram que o maior tempo de tratamento resultava em uma maior quantidade de elementos que falhavam no processo de vergamento. Ainda, relações inferiores para o tempo de vaporização foram encontradas nos estudos de As, Hindman e Büyüksari (2018) e Ratnasingam *et al.* (2022), correspondendo a 1,8 min/mm.

O desempenho estrutural do vergamento da madeira está diretamente associado à relação espessura e raio de curvatura. No estudo de As, Hindman e Büyüksari (2018), diferentes métodos de plastificação foram adotados para analisar sua influência nas propriedades mecânicas da madeira *Quercus petraea* Liebl. com diferentes raios de curvatura.

Destaca-se que tanto a vaporização quanto o vergamento apresentam resultados variados conforme a espécie da madeira adotada. Nesse contexto, se fazem necessárias maiores investigações sobre a aplicação dessas técnicas em espécies de madeira de interesse estrutural. Dentre as possíveis madeiras que ainda carecem dessa investigação, o cedro indiano (*Acrocarpus flaxinifloius*) é uma madeira leve, classificada como D20 em resistência entre as madeiras de folhosas, conforme a NBR 7190-3 (ABNT, 2022). Apresenta estabilidade dimensional moderada e propriedades de resistência e rigidez compatíveis com diversas espécies de reflorestamento. É uma opção adequada para aplicações de baixa demanda de esforços, como coberturas, mobiliário e esquadrias (Oliveira; Oliveira; Molina, 2022). Vale mencionar que não foram encontrados estudos que se dedicam a analisar a influência da região de corte do tronco (alburno ou cerne) no comportamento do elemento vergado.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo investigar as características do processo de vergamento da madeira de *Acrocarpus flaxinifloius* flexionada por vaporização fabricadas com quatro diferentes espessuras de lamelas (5, 8, 10, 12 mm), bem como verificar se a madeira retirada da região do cerne difere de forma significativa quando comparada com a retirada da região do alburno, identificando os modos de falha obtidos no processo.

Materiais e métodos

Desenvolvimento dos equipamentos

Para a realização desta pesquisa, inicialmente foi necessário o desenvolvimento de dois equipamentos: um responsável pela vaporização e outro pelo vergamento, ambos são apresentados em detalhes nas seções “Equipamento de vaporização” e “Equipamento de vergamento”. Esses equipamentos foram desenvolvidos com base no trabalho de Gatto (2006) e WikiHow (2023).

Equipamento de vaporização

Foi desenvolvido um equipamento de vaporização composto por uma caixa de vaporização e uma caldeira de vapor, conforme apresentado na Figura 2. A caixa de vaporização foi destinada ao tratamento térmico dos corpos de prova, onde as lamelas foram dispostas para serem vaporizadas por um tempo determinado. O vapor conduzido pela tubulação foi fornecido pela caldeira de vapor, onde ocorreu o aquecimento de água.

Os encaixes entre as tábuas da caixa de vaporização (Figura 2) foram selados com silicone para vedar a saída de vapor, enquanto no fundo considerou-se também a fixação por parafusos. Foi instalada uma porta para acesso à caixa, vedada adequadamente com o uso de espumas. Foram instaladas cavilhas entre as paredes internas da caixa (a cada 10 cm) e a 5 cm de distância do fundo da caixa, com intuito de suspender as lamelas tratadas. Esse artifício possibilitou a circulação do vapor nas quatro faces do corpo de prova.

Para garantir a entrada do vapor, foi realizado um furo de duas polegadas centralizado na face inferior da caixa. Conforme apresentado na Figura 2, por estar fixada em uma superfície inclinada, a porta da caixa se localizou em um nível abaixo do fundo, e com isso o vapor tendeu a seguir até o fundo da caixa. Foram realizados dois furos próximos da porta da caixa com a função de equilibrar a pressão interior com a exterior, permitindo a circulação do vapor.

A caldeira de vapor foi composta por um reservatório de 25 litros, por uma resistência elétrica para aquecimento com 1500 W de potência e por um tubo de duas polegadas para permitir o transporte do vapor para caixa.

Figura 2 - Equipamento de vaporização composto por caixa de vaporização e caldeira de vapor



Equipamento de vergamento

O equipamento de vergamento, desenvolvido com base no modelo utilizado por Gatto *et al.* (2008), foi composto por um molde de madeira com formato de semicírculo e uma alavanca de vergamento, conforme ilustrado na Figura 3.

O molde foi construído em madeira cortada em semicírculo de 21 cm de raio com 4 cm de espessura. Para a confecção do molde foi utilizada placa EGP (painel de colagem lateral) colada em camadas com adesivo poliuretano de maneira a alcançar a espessura necessária para o molde. Essa placa colada então foi cortada em uma serra fita na forma de semicírculo e lixada. Dois furos passantes foram feitos no meio do molde para fixação na mesa. Por último foi feito um recorte na base do semicírculo para encaixar no eixo central da alavanca de vergamento.

A alavanca, composta por uma barra de aço de perfil retangular com 150 cm de comprimento, é responsável por forçar a lamela tratada no molde. Nesse elemento foi fixado um pedaço de barra de aço de perfil quadrado que atua como trilho para uma peça maciça de *nylon* em contato com a lamela a ser vergada (Figura 4). Na outra ponta da peça de *nylon* foi utilizada uma barra roscada que passou por uma estrutura metálica não fixa. Quando a peça de nylon foi movimentada, movimentou-se também a estrutura metálica que pressionou uma célula de carga (capacidade de 300 kgf) que se encontrava no final da estrutura. A célula de carga foi ligada em um coletor de dados de maneira a transmitir (para um computador) os valores de força necessários ao vergamento da madeira.

Além destes dois principais elementos, também foi utilizada uma cinta de flexão, que impediu a dilatação de ruptura na face de tração. A cinta de tração foi a solução criada por Michael Thonet, em 1830, para evitar o rompimento na face da tração (Gatto, 2006).

Tempo para equilíbrio da madeira

Neste estudo o tratamento foi uniformizado para garantir que todas as lamelas fossem tratadas pelo mesmo tempo e mesma temperatura. Para isso foi feito um estudo prévio do tempo necessário para que a temperatura se estabilizasse dentro da caixa.

Para realizar esse estudo colocou-se o equipamento de vaporização em funcionamento. Um termômetro digital infravermelho foi utilizado para realizar as medições de temperatura. Com o reservatório cheio de água, ainda sem ligar a resistência, mediu-se a temperatura do reservatório, do tubo por onde passa o vapor, do exterior da caixa próximo aos furos de escape de vapor e do interior da caixa.

As medidas foram registradas em tempos determinados. A primeira medição foi considerada no tempo zero. Na sequência, a resistência foi ligada e foram aferidas as temperaturas nos mesmos pontos a cada 15 minutos, cabendo destacar que foram realizadas as medições por duas horas considerando-se 6 repetições para cada amostra.

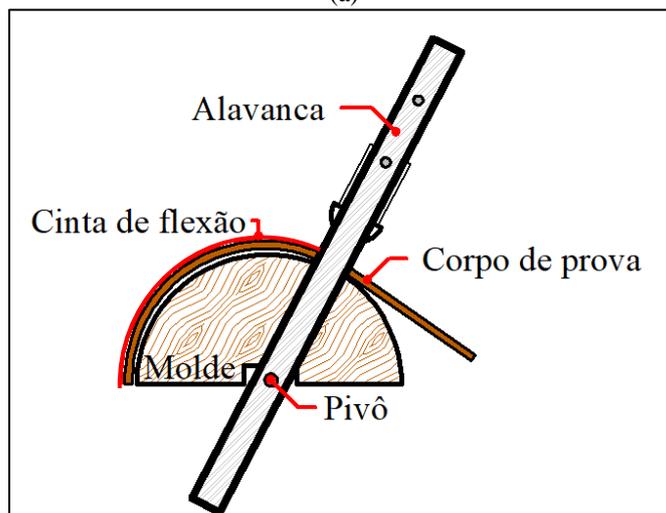
Figura 3 - Equipamento de vergamento completo composto por molde e alavanca



Figura 4 - Visão do contato entre o equipamento de vergamento e o corpo de prova (a) e representação esquemática do equipamento de vergamento (b)



(a)



(b)

Preparação dos corpos de prova

Os corpos de provas foram retirados de um mesmo lote de madeira, com sua caracterização apresentada em Oliveira, Oliveira e Molina (2022). As lamelas foram preparadas com 40 mm de largura, 650 mm de comprimento e espessuras variando em 5, 8, 10, 12 mm. As lamelas foram retiradas com uso de uma serra circular e depois passaram por um processo de desengrosso para chegar nas dimensões esperadas. Foram retirados 10 corpos de provas para cada espessura, sendo 5 predominantemente da região do alburno e 5 predominantemente do cerne, o que resultou em um total de 40 determinações experimentais (força média responsável pelo vergamento total das lamelas).

As lamelas de madeira foram escolhidas aleatoriamente sem uma avaliação visual normativa prévia para identificação dos possíveis defeitos próprios como nós, medulas etc. Nessa escolha das lamelas, estas foram

separadas somente em lamelas retiradas do cerne e outras das regiões do alburno. As madeiras utilizadas nesta pesquisa foram classificadas mecanicamente segundo a NBR 7190-3 (ABNT, 2022), enquadrando-se na classe de resistência D20 com umidade de $12\% \pm 1\%$ (Oliveira; Oliveira; Molina, 2022).

Vergamento da madeira

Para a presente pesquisa, foi-se estabelecido o tempo de 2,4 minutos por milímetro de espessura da lamela. Esse tempo foi estabelecido pela média dos valores encontrados na literatura (Aramburu *et al.*, 2022; As; Hindman; Büyüksari, 2018; Ratnasingam *et al.*, 2022). Desta forma as lamelas de 5 mm de espessura permaneceram por 12 minutos no processo de vaporização, as de 8 mm por 19 minutos, as de 10 mm por 24 minutos e as de 12 mm por 29 minutos.

Logo após o tempo de vaporização, as lamelas foram retiradas da caixa de vaporização, colocadas juntamente com uma cinta de tração e rapidamente levadas para o equipamento de vergamento (Figura 3).

Uma das extremidades da lamela foi fixada junto ao molde e então vergada. Após o vergamento, a lamela foi fixada com grampos (sargentos) junto ao molde e colocada para resfriar em temperatura ambiente até atingir a temperatura ambiente. Foi verificado se a lamela após o vergamento apresentava deformações residuais.

Foram verificados os possíveis modos de falha obtidos pelo vergamento tanto para as madeiras retiradas do cerne como também para as madeiras retiradas do alburno, além de avaliar se essa ruptura ocorreu por conta das características do processo de vergamento ou por defeitos próprios da madeira. Os modos de falha comumente encontrados no processo de vergamento da madeira são apresentados na Figura 5. Também foi verificada a umidade das lamelas após a saída dessas da caixa de vaporização por meio do medidor de umidade por contato Marrari M5.

Análise estatística

A análise de variância (ANOVA), considerada ao nível de 5% de significância, foi utilizada para verificar a influência da presença do alburno e do cerne nos valores das forças de vergamento para cada espessura de lamela. Pela ANOVA, p-valor (probabilidade p) inferior ao nível de significância implica em tratamentos com médias estatisticamente distintas, e não distintas em caso contrário. O teste de Anderson-Darling (5% de significância) foi utilizado para verificar a normalidade na distribuição dos resíduos. Pelo teste, p-valor superior ao nível de significância adotado implica em normalidade da distribuição, o que valida os resultados da ANOVA.

A correlação de Pearson foi utilizada para verificar a existência de relação entre o número de defeitos presentes em cada amostra com o respectivo valor da força de vergamento, cabendo destacar que o coeficiente r de Pearson consiste em um número no intervalo real $[-1; 1]$. A ANOVA, ao nível de 5% de significância, foi utilizada para verificar a significância das correlações testadas. P-valor inferior ao nível de significância implica em considerar significativa a correlação, e não significativa em caso contrário.

Resultados e discussões

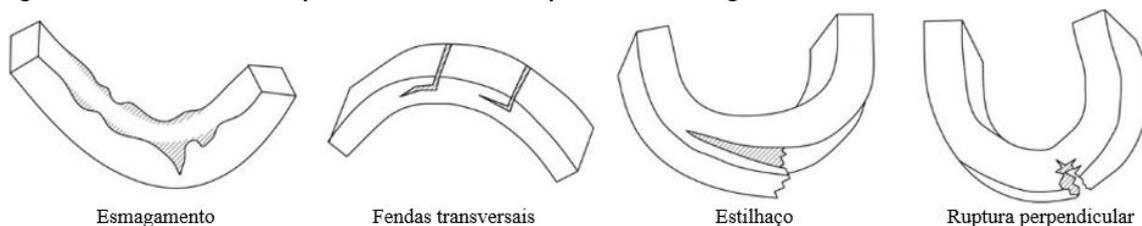
Tempo para equilíbrio de temperatura

Após realizar as medições referente a temperatura do equipamento de vaporização, os dados foram analisados. De forma geral, o valor encontrado para o teor de umidade das lamelas logo após essas saírem da caixa de vaporização variou entre 13% e 16%. De posse dos dados de temperatura, os valores médios obtidos para cada componente foram comparados e apresentados (Figura 6), cabendo destacar que ambas as curvas geradas apresentaram um trecho ascendente até atingirem a estabilização.

Conforme apresentado na Figura 6, a temperatura começou a se estabilizar dentro da caixa após 1 hora e meia depois de ligada a resistência, atingindo temperatura na faixa de 90 °C. Após esse tempo notou-se uma grande quantidade de vapor saindo pela chaminé da caixa.

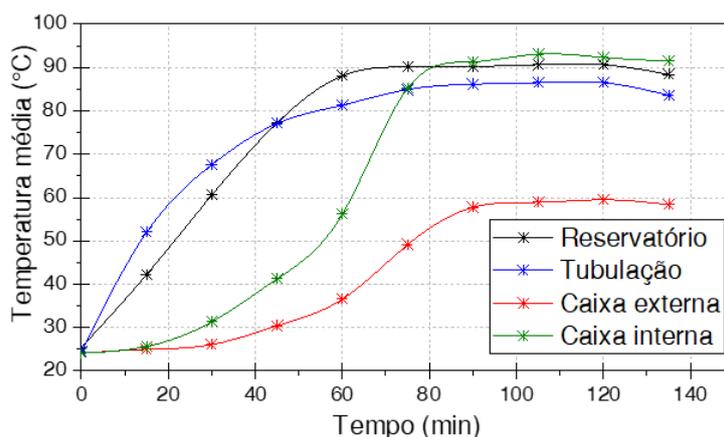
Durante o processo de aquecimento, como a caixa estava fria, houve condensação do vapor no seu interior, o que resultou no escorrimento de água pela abertura da caixa, cessando posteriormente quando a temperatura se estabilizou. Essa observação pode ser considerada como um indicador da estabilização da temperatura na caixa.

Figura 5 - Modos de falha típicos encontrados no processo de vergamento da madeira



Fonte: adaptado de Aramburu *et al.* (2022).

Figura 6 - Médias das temperaturas no equipamento (componentes) de vaporização



Vergamento da madeira

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação (CV) das forças de vergamento (F) considerando-se o alburno (Alb.) e o cerne (Cer.), o número total de defeitos (ND) encontrados juntamente com os respectivos coeficientes (r) de correção de Pearson do ND com as forças F e as frequências (Fr-F) de lamelas que falharam durante o processo de vergamento, cabendo destacar que foram testadas 5 amostras com predominância do alburno e 5 com predominância do cerne.

Os p-valores [0,121; 0,842] do teste Anderson-Darling foram todos superiores ao nível de significância de 5%, o que indica ser normal a distribuição dos resíduos, validando assim os resultados da ANOVA.

A maior predominância de cerne ou de alburno não afetou ($0,322 \leq p\text{-valor} \leq 0,891$) de forma significativa nos valores médios das forças necessárias ao vergamento das lamelas considerando-se todas as espessuras investigadas. As árvores de origem da madeira possuíam nove anos de idade (Oliveira; Oliveira; Molina, 2022), podendo explicar a diferença pouca significativa encontrada.

A madeira, por ser nova (nove anos), não permitiu uma distinção completa entre o alburno e o cerne apenas pela análise visual, o que acabou impactando nos resultados, assim como pode ser observado no último tratamento da Tabela 1.

Com relação aos defeitos, foi notada correlação significativa entre esses e as forças de vergamento (F) apenas para as lamelas de 5 mm de espessura considerando a madeira do cerne. Dessa forma, não foi possível afirmar que os defeitos afetaram de forma significativa nos valores da força de vergamento.

Com relação a falha das lamelas no processo de vergamento, notou-se apenas que 20% dessas falharam para as espessuras de 5 ou de 8 mm, sendo 50 e 60% a porcentagem de falhas das lamelas associadas as espessuras de 10 e 12 mm de espessura, respectivamente, o que indicou considerar-se o limite da razão entre o raio de curvatura e a espessura da lamela para a madeira de *Acrocarpus flaxinifloius* de 1:21. Destaca-se que os valores encontrados na literatura para essa razão variam entre 1:10 e 1:15 (Aramburu *et al.*, 2022; As; Hindman; Büyüksari, 2018; Ratnasingam *et al.*, 2022), indicando a possibilidade da utilização da *Acrocarpus flaxinifloius* em vergamento com a razão do raio de curvatura usuais.

Os modos de falha, identificados conforme a Figura 5, das lamelas testadas na presente pesquisa foram o estilhaço (Figura 7) e ruptura perpendicular (Figura 8).

Tabela 1 - Resultados obtidos acerca do vergamento da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*

Tratamentos	Região	F (N)	CV (%)	ND	r (ND × F)	Fr-F
5 mm (12 min)	Alb.	215,28	36,34	3	-0,451	1/5
	Cer.	205,74	33,09	2	<u>0,944</u>	1/5
8 mm (19 min)	Alb.	295,98	39,30	19	<u>0,576</u>	2/5
	Cer.	182,29	48,88	3	0,113	0/5
10 mm (24 min)	Alb.	342,65	44,02	16	-0,080	2/5
	Cer.	257,15	38,67	15	0,016	3/5
12 mm (29 min)	Alb.	264,09	40,00	23	-0,648	4/5
	Cer.	353,54	36,24	13	-0,242	2/5

Nota: *coeficientes r de Pearson sublinhados foram considerados significativos pela ANOVA, ao nível de 5% de significância.

Figura 7 - Modos de falha de vergamento: estilhaço leve (a) e severo (b)

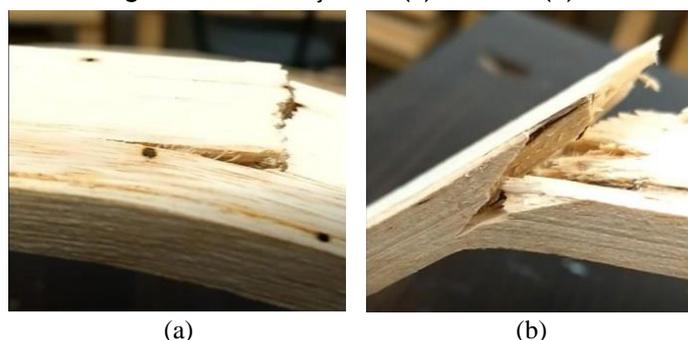
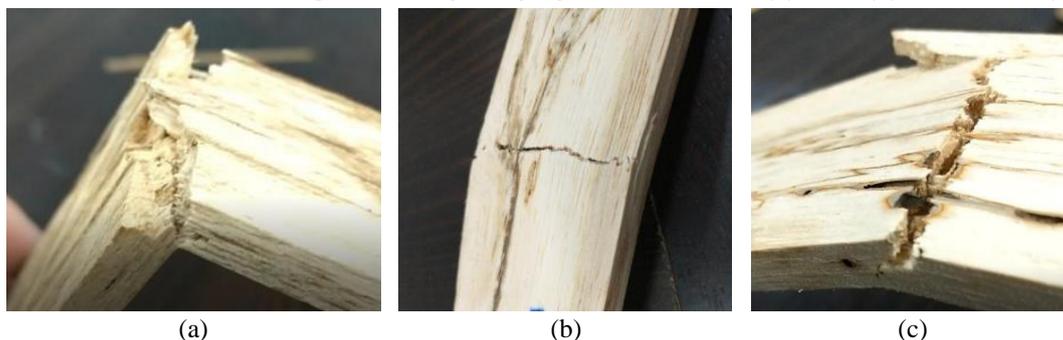


Figura 8 - Modos de falha de vergamento: ruptura perpendicular severa (a), leve (b) e em um nó (c)



A falha por estilhaço é justificada pela relação entre a espessura da peça de madeira e o raio de curvatura (Vorreiter, 1958), enquanto que a ruptura perpendicular está mais relacionada a presença de defeitos, conforme também observado em Aramburu *et al.* (2022). Segundo Gatto (2006), defeitos característicos da madeira, como nós, tendem a apresentar mais problemas na hora do vergamento.

Conclusões

Os resultados obtidos da presente pesquisa permitem concluir que:

- a maior presença de alburno ou de cerne nas amostras não promoveu variações significativas nos valores médios das forças de vergamento para as quatro espessuras de lamelas consideradas;
- não foi notada correlação entre o número de defeitos em cada lamela com a força necessária ao vergamento, o que indica a influência não significativa dos defeitos sobre essa variável;
- com base na frequência de falha das lamelas para cada espessura, indica-se não considerar a razão entre espessura e raio de curvatura superior a 8:21; e
- os modos de falha identificados consistiram essencialmente no estilhaço e na ruptura perpendicular.

Referências

- ARAMBURU, A. B. *et al.* Bending quality of three Brazilian hardwoods modified by different hydrothermal treatments. **Cerne**, v. 28, n. 1, p. 1–8, 2022.
- AS, N.; HINDMAN, D.; BÜYÜKSARI, Ü. The effect of bending parameters on mechanical properties of bent oak wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 76, n. 2, p. 633–641, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3**: projeto de estruturas de madeira: parte 3: métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 2022.
- AYDIN, I.; COLAKOGLU, G. Variations in bending strength and modulus of elasticity of spruce and alder plywood after steaming and high temperature drying. **Mechanics of Advanced Materials and Structures**, v. 15, n. 5, p. 371–374, 2008.
- ESTEVES, B. *et al.* Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 193–207, 2007.
- GAŠPARÍK, M.; GAFF, M. Changes in temperature and moisture content in beech wood plasticized by microwave heating. **BioResources**, v. 8, n. 3, p. 3372–3384, 2013.
- GATTO, D. A. **Características tecnológicas do vergamento das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídio para o manejo florestal**. Santa Maria, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- GATTO, D. A. *et al.* Características tecnológicas das madeiras de *Luhea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* quando submetidas ao vergamento. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 121–131, 2008.
- MOLINA, J. C. *et al.* Gridshell em madeira: aspectos teóricos e construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 277–295, jan./mar. 2020.
- OLIVEIRA, K. A.; OLIVEIRA, C. A. B.; MOLINA, J. C. Physical, chemical and mechanical characterization of *acrocarpus fraxinifolius* cultivated in São Paulo. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 24, n. 9, p. 1–8, 2022.
- PERES, M. L. *et al.* Vergamento da madeira de *Eucalyptus grandis* plasticizada por vaporização e cozimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 169–177, abr./jun. 2015.
- RASDIANAH, D. *et al.* Effects of superheated steam treatment on the physical and mechanical properties of light red meranti and kedondong wood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 30, n. 3, p. 384–392, 2018.
- RATNASINGAM, J. *et al.* Comparative steam bending characteristics of some planted forest wood species in Malaysia. **BioResources**, v. 17, n. 3, p. 4937–4951, Jul. 2022.
- VORREITER, L. **Handbuch Holztechnologie**. Wien; München: Verlag Georg Fromme & CQ, 1958.
- WIKIHOW. **Como curvar madeira**. 2023. Disponível em: <https://pt.wikihow.com/Curvar-Madeira>. Acessado em: 15 set. 2023.

Rodrigo Daniel da Silva Oliveira

Conceitualização, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação dos dados, Redação do manuscrito original.

Faculdade de Engenharia Industrial Madeireira | Universidade Estadual Paulista | Rua Geraldo Alckimin, 519, Vila N. Srª de Fátima | Itapeva - SP - Brasil | CEP 18409-010 | Tel.: (15) 3524-9100 | E-mail: rdsoliveira@gmail.com

Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim

Validação de dados e experimentos, Design da apresentação dos dados, Redação do manuscrito original, Redação da revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Rondônia | BR 364, Km 9,5 | Porto Velho - RO - Brasil | CEP 76801-059 | Tel.: (69) 99315-1400 | E-mail: eng.pedrojardim@gmail.com

Alexandre Jorge Duarte de Souza

Curadoria de dados, Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Faculdade de Engenharia Industrial Madeireira | Universidade Estadual Paulista | E-mail: alexandre.duarte@unesp.br

André Luis Christoforo

Curadoria de dados, Análise de dados, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | Rod. Washington Luís, km 235, SP-310 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13565-905 | Tel.: (16) 3351-8111 | E-mail: alchristoforo@ufscar.br

Júlio Cesar Molina

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Escola de Engenharia de São Carlos | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador São Carlense, 400 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13566-590 | Tel.: (16) 33739452 | E-mail: julio.molina@usp.br

Editor: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.