



Foto: Rosana Higa



*Pinus elliottii*



*Pinus taeda*

## Aumento da Permeabilidade ao Ar de Madeira Maciça Submetida a Compressão Axial

Washington Luiz Esteves Magalhães<sup>1</sup>

### Introdução

A madeira maciça de pinus apresenta os mais diversos usos, como em molduras, painéis lateralmente colados, painéis compensados, vigas, esquadrias, móveis, lápis, entre outros. As espécies do gênero *Pinus* são propícias ao florestamento. Os plantios têm sido explorados cada vez mais cedo e, dessa forma, é preciso adequar a tecnologia para melhor utilizar a madeira juvenil proveniente desses abates precoces.

Outro avanço tecnológico é a secagem rápida (Nijdam et al., 2000) dessa madeira com o emprego de altas temperaturas em estufas de processamento contínuo. Durante o processo de secagem rápida é comum ocorrer a aspiração das pontuações, principalmente nas regiões com parede celular de pequena espessura e baixa densidade e resistência mecânica próprias do lenho inicial.

A aspiração da pontuação ocorre quando ainda existe água livre no lúmen das células (Siau, 1971). A retirada

rápida dessa água causa uma pressão que é proporcional ao inverso do diâmetro do capilar. Assim, a membrana da pontuação, composta pelo torus e o margo, sofre uma pressão no sentido de comprimi-la contra a auréola, causando um selamento da pontuação aureolada. Na junção entre a membrana e a auréola, após a aspiração da pontuação, passam a atuar as forças de atração do tipo ligação de hidrogênio. Via de regra, para se desfazer a aspiração, o melhor é uma total reidratação da madeira.

A aspiração das pontuações pode causar uma diminuição na permeabilidade da madeira de até dez vezes. Em muitas aplicações industriais em que se necessitam de impregnações com monômeros, ceras ou parafinas, a baixa permeabilidade da madeira resulta em tratamentos defeituosos e conseqüentes prejuízos.

Em madeira de *Pinus radiata*, quanto mais drástica a secagem maior será a permeabilidade, em virtude do principal mecanismo de transporte de líquidos ser através dos canais de resina e, assim, a aspiração da pontuação deixa de ser importante (Booker & Evans, 1994).

<sup>1</sup> Engenheiro Químico, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. wmagalha@cnpf.embrapa.br

A permeabilidade longitudinal de madeira de *Pinus taeda* (Milota et al. 1995) é menor na parte inferior do que na superior da árvore. Madeira madura também apresenta maior permeabilidade do que a madeira juvenil, não sendo uma função apenas da densidade.

Neste estudo será apresentado um tratamento por compressão uniaxial de peças ainda verdes de madeira maciça de pinus. Esse tratamento visa aumentar a permeabilidade da madeira. Para a caracterização do tratamento foi construído um aparato simples para a medida da permeabilidade ao ar da madeira tratada e compará-la à madeira não tratada.

## Material e métodos

Usou-se madeira de uma tora de árvore de *Pinus elliotti* Engelm var. *elliottii*. Os caibros foram desdobrados da tora com os anéis de crescimento paralelos a uma das faces. Desses caibros foram retiradas 102 amostras com dimensões nominais de 3,0 x 3,0 x 10,0 cm e isentas de defeitos.

As amostras ainda verdes foram submetidas a uma compressão axial na direção radial. Dois níveis de carga foram usados para que as amostras sofressem deformações correspondentes a 1/3 e 1/2 da dimensão radial original da peça. Após a compressão desejada ter sido atingida aliviou-se a carga aplicada e deixou-se que a peça retornasse à sua dimensão original espontaneamente. A seguir as amostras submetidas à compressão e também as não prensadas e usadas como testemunhas foram secas em estufa até peso constante a uma temperatura de 50 °C com circulação de ar.

De cada amostra foram retirados dois cilindros com diâmetro nominal de 1 cm, de forma que seus eixos fossem paralelos às direções tangencial ou longitudinal. Os cilindros usados na medida da permeabilidade longitudinal e tangencial foram cortados com comprimentos de 3 e 2 cm, respectivamente (Figura 1). Cada cilindro teve a sua superfície lateral selada com cola a base de silicone para garantir todo o fluxo na direção do eixo. Foram usados 34 cilindros para cada tratamento e direção de permeabilidade desejada, totalizando 204 cilindros medidos.

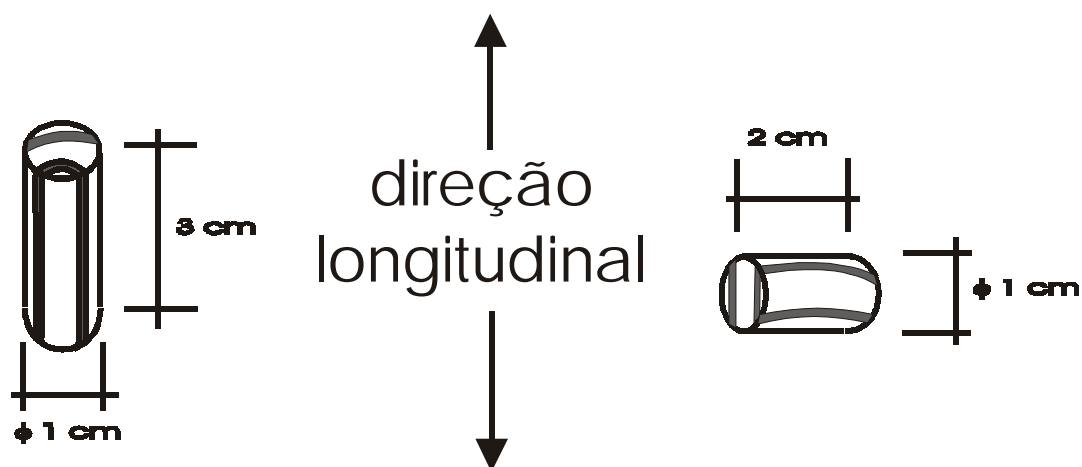


Fig.1. Cilindros de madeira usados para medir a permeabilidade ao ar.

Para a determinação da permeabilidade ao ar foi construído um aparato simples para medir a diferença de pressão entre as extremidades do cilindro e a vazão de ar que atravessa a amostra (Fig. 2). A amostra é colocada em mangueira de silicone sendo adicionada cola de silicone para evitar o vazamento de ar entre o cilindro e a mangueira.

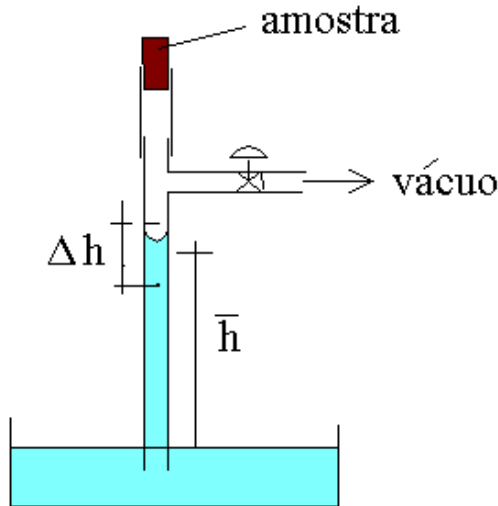


Fig. 2. Desenho esquemático do aparato para medir a permeabilidade ao ar em madeira.

Para a determinação da permeabilidade usa-se a equação de Darcy (Siau, 1971) com as necessárias correções para a variação de volume do ar em face da sua perda de carga ao atravessar a amostra de madeira. Seguem-se as equações utilizadas:

$$k_g = \frac{152 \times C \times V \times L \times (P_a - \bar{h}/13,6)}{t \times A \times (\bar{h}/13,6) \times (2P_a - \bar{h}/13,6)}$$

$$C = 1 + \frac{V_r \times (\bar{\Delta h}/13,6)}{V \times (P_a - \bar{h}/13,6)}$$

onde:

$k_g$ : é a permeabilidade superficial em  $\text{cm}^3/(\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s})$

$C$ : é o fator de correção para a expansão do ar por causa da mudança da pressão estática

$V$ : é o volume de ar deslocado na coluna d'água em  $\text{cm}^3$

$L$ : é o comprimento do cilindro de madeira em cm

$A$ : é a área em  $\text{cm}^2$  da seção reta do cilindro de madeira perpendicular ao fluxo de ar

$P_a$ : é a pressão atmosférica em cmHg

$\bar{h}$ : é a altura média da coluna d'água medida a partir da superfície do reservatório em cm; 13,6 é o fator para converter cm de coluna d'água em cmHg

152: é para converter a pressão média de cmHg para atm

$t$ : é o tempo em s em que o nível de água se desloca na coluna com a entrada do volume  $V$  de ar através da amostra

$\Delta h$ : é a mudança de altura do nível de água na coluna em cm durante a medida do tempo  $t$

$V_r$ : é o volume de ar em  $\text{cm}^3$  que permanece no aparato enquanto ocorre deslocamento de ar na coluna d'água.

A altura da coluna d'água corresponde à diferença de pressão entre as extremidades do cilindro de madeira. A vazão volumétrica de ar é obtida medindo-se o tempo para que o nível de água percorra um volume conhecido na coluna.

O volume  $V_r$  foi medido para o caso do aparato construído e determinado como sendo igual a 38,0 e 30,0 ml para as direções longitudinal e tangencial, respectivamente. O volume percorrido pelo menisco da coluna d'água,  $V$ , foi de 32,0 e 1,0 ml para as direções longitudinal e tangencial, respectivamente. A diferença de altura  $\Delta h$  entre os níveis mais alto e mais baixo da coluna d'água foi de 15,0 e 0,5 cm, o nível mais alto foi medido como sendo igual a 80,3 e 48,9 cm para as direções longitudinal e radial, respectivamente.  $P_a$  é a pressão atmosférica e igual a 69 cmHg.

## Resultados e discussão

A tabela 1 mostra o contraste pelo teste F entre as médias dos valores das permeabilidades medidas nas direções tangencial e longitudinal para as amostras tratadas e não tratadas. Os desvios padrão também estão mostrados na tabela 1.

**Tabela 1.** Teste F para os contrastes entre os valores médios da permeabilidade ao ar,  $k_g$ , em  $\text{cm}^3/(\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s})$  para as amostras não prensadas e prensadas com dois níveis de deformações da dimensão radial.

	Direção longitudinal	Direção tangencial
Madeira sem tratamento (T1)	23,90 ± 7,8	0,21 ± 0,092
Madeira com nível 3 de deformação (T2)	52,35 ± 32,4	0,33 ± 0,24
Madeira com nível 5 de deformação (T3)	72,42 ± 36,9	0,33 ± 0,15
Contrastes:		
T1 vs. T2 T3	40,86**	10,15**
T2 vs. T3	7,42**	< 1 ns

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.  
ns não significativo.

O tratamento testado foi mais eficiente em aumentar a permeabilidade longitudinal do que a tangencial. Ainda assim, o tratamento propicia um aumento em mais de 50% na permeabilidade tangencial.

Os valores dos desvios padrão foram elevados principalmente para as amostras que sofreram o tratamento. Isso se deve a dois motivos principais. O primeiro refere-se à não homogeneidade natural da madeira. As amostras, coletadas indistintamente, se próximas à casca ou à medula e provenientes de madeira juvenil, apresentam um gradiente acentuado de propriedades físicas e anatômicas ao longo dos anéis de crescimento. O segundo fator refere-se ao tratamento em si. Não foi usado um aparato que permitisse controle rigoroso da pressão aplicada ou sua uniformidade ao longo da amostra. Dessa forma, amostras com níveis diferentes de deformação podem ter sofrido níveis semelhantes de pressão. Todavia, a compressão uniaxial mostrou-se eficiente em aumentar a permeabilidade ao ar. Assim, o teste estatístico F mostrou haver diferença significativa de permeabilidade entre as amostras tratadas e não tratadas.

Para a permeabilidade na direção longitudinal também houve diferença entre os dois níveis de deformação aplicados às amostras de madeira. A permeabilidade na direção longitudinal cresce com a deformação aplicada durante o tratamento.

Em contrapartida, não houve diferença entre os dois níveis de deformação para a permeabilidade na direção tangencial.

## Conclusões

A compressão axial foi eficiente em aumentar em até três vezes a permeabilidade ao ar de peças de madeira de pinus.

A permeabilidade da madeira sem tratamento na direção longitudinal é mais que 100 vezes maior que na direção tangencial. Após a compressão uniaxial na direção radial essa diferença aumentou.

A permeabilidade na direção longitudinal aumentou com o nível de deformação aplicada às peças de madeira. Contudo, para os dois níveis de deformação não resultaram em diferenças entre os valores de permeabilidade na direção tangencial.

Um outro dispositivo para aplicação das deformações deverá ser desenvolvido a fim de melhor controlar as condições do experimento. Outros testes serão conduzidos para caracterizar a permeabilidade a líquidos das madeiras tratadas por compressão.

## Referências bibliográficas

- BOOKER, R. E.; EVANS, J. M. The effect of drying schedule on the radial permeability of *Pinus radiata* D. Don. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 52, p. 150-156, 1994.
- NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. G.; KEEY, R. B. A high temperature drying model for softwood timber. **Chemical Engineering Science**, v. 55, p. 3585-3598, 2000.
- MILOTA, M. R.; TSCHERNITZ, J. L.; VERRILL, S. P.; MIANOWSKI, T. Gas permeability of plantation loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v. 27, n. 1, p. 34-40, 1995.
- SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131 p.

### Comunicado Técnico, 98

**Embrapa Florestas**  
Endereço: Estrada da Ribeira km 111 - CP 319  
Fone: (0\*\*) 41 666-1313  
Fax: (0\*\*) 666-1276  
E-mail: sac@cnpf.embrapa.br  
Para reclamações e sugestões *Fale com o Ouvidor*: [www.embrapa.br/ouvidoria](http://www.embrapa.br/ouvidoria)



1ª edição  
1ª impressão (2003): conforme demanda

### Comitê de publicações

**Presidente:** Luciano Javier Montoya Vilcahuaman  
**Secretária-Executiva:** Guiomar M. Braguínia  
**Membros:** Antonio Maciel Botelho Machado / Edilson Batista de Oliveira / Jarbas Yukio Shimizu / José Alfredo Sturion / Patricia Póvoa de Mattos / Susete do Rocio Chiarello Penteado

### Expediente

**Supervisor editorial:** Luciano J. Montoya Vilcahuaman  
**Revisão gramatical:** Ralph D. M. de Souza  
Normalização bibliográfica: Elizabeth Câmara Trevisan / Lidia Woronkoff  
**Editoração eletrônica:** Cleide Fernandes de Oliveira.