

Importância das pontoações na permeabilidade da madeira de *Corymbia citriodora*

Resumo: O objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre a biometria das pontoações raio-vascular (PRV) e intervascular (PIV) com o fluxo da água nos diferentes eixos da madeira de *Corymbia citriodora*. Amostras da madeira de *C. citriodora* foram utilizadas para correlacionar as dimensões das PRV e PIV com o fluxo da água livre (TAL), adsorvida (TAA) e total (TAT). As correlações foram realizadas para os três eixos da madeira. Os maiores diâmetros das PRV facilitaram a TAL, TAA e TAT no eixo axial e tangencial, porém reduziram a permeabilidade na direção radial da madeira. Maiores aberturas PIVs permitiram maiores TAL e TAT na direção radial e tangencial da madeira, porém, concomitantemente, reduziram TAA. As maiores aberturas das PIVs reduziram a TAL, TAA e TAT no eixo axial do lenho. O efeito do diâmetro da PRV e PIV na permeabilidade da madeira deve ser avaliado para cada eixo.

Palavras-chave: Água livre, Água adsorvida, Secagem, Pontoação raio-vascular, Pontoação intervascular.

Importance of pits in *Eucalyptus* wood permeability

Abstract: Aim of this research was to evaluate relationship between pits biometry of ray-vascular (RVP) and intervascular (IVP) with water flow in different axes of *Corymbia citriodora* wood. *C. citriodora* wood samples were used to correlate RVP and IVP dimensions with free water (FWR), adsorbed (AWR) and total (TWR) flow. Correlations were made for three wood axes. Larger diameters of RVP facilitated FWR, AWR and TWR in axial and tangential axis, however reduced permeability in radial direction of wood. Larger openings of IVPs reduced FWR, AWR and TWR in axial axis of wood. Larger IVPs openings allowed higher FWR and TWR in wood radial and tangential directions, however, concomitantly reduced AWR. Effect of diameter of RVP and IVP on wood permeability should be evaluated for each axis

Keywords: Free water, Adsorbed water, Drying, Radius-vascular pits, Intersvascular pits.

1. INTRODUÇÃO

A movimentação da água na madeira tem sido estudada cientificamente há, pelo menos, um século. De acordo com a revisão de literatura sobre esse tema apresentada por Engelund et al. (2013), os estudos referentes às interações da água com a madeira foram realizados, principalmente, com espécies de coníferas. Nos últimos anos, principalmente no Brasil, a interação água-madeira em folhosas foi estudada, recebendo destaque a família Myrtaceae, com estudos sobre o gênero *Corymbia* (Zanuncio et al., 2013a; Zanuncio et al., 2013b; Monteiro et al., 2017; Monteiro et al., 2018).

É sabido que as fibras, os elementos de vasos, as células de parênquima radial e axial tornam a madeira de *C. citriodora* porosa. A passagem dos fluidos através dessas estruturas é complexa, pois ocorre com a água tanto na fase líquida, quanto na gasosa (Siau, 1971). Este

movimento da água no caule das folhosas ocorre principalmente por meio dos vasos e pares de pontoações (Siau, 1971; Engelund et al., 2013). A complexidade do fluxo da água aumenta quando analisado nos diferentes eixos da madeira, quando diversas técnicas de permeabilidade conseguiram obter o fluxo apenas no eixo axial (Baraúna et al., 2014; Zanuncio et al., 2016; Rezende et al., 2017). Além dos eixos, poucos estudos abordaram a movimentação detalhada da água livre e adsorvida durante a secagem em folhosas, principalmente do gênero *Corymbia*.

O conhecimento sobre o efeito das pontoações raio-vasculares e intervascular do lenho de folhosas no fluxo da água é importante para a otimização na industrialização desta madeira, principalmente quando os poucos relatos focam na importância dos vasos, raios e parede celular (Siau, 1971; Zanuncio et al., 2016; Monteiro et al., 2017). Situação diferente do que ocorre com a madeira de coníferas, onde a importância das pontoações areoladas na movimentação da água foi amplamente relatada em diversas pesquisas (Engelund et al., 2013). Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre a biometria das pontoações raio-vascular e intervascular com o fluxo de água nos diferentes eixos da madeira de *Corymbia citriodora*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção e preparo do material

Foram utilizadas três árvores da espécie *Corymbia citriodora* cedidas pela empresa *Cenibra*, em Belo Oriente, MG. O plantio com espaçamento entre as árvores de 3 × 3 metros foi cortado aos sete anos de idade. Um pranchão central da tora da base da árvore foi retirado e dois sarrafos de cada árvore produzidos.

Corpos de prova cúbicos, com 30 mm de arestas foram confeccionados de cada sarrafo no Laboratório de Usinagem da Madeira, na Universidade Federal de Lavras (UFLA). O cubo da posição intermediária do sarrafo foi retirado para a determinação do diâmetro das pontoações. As demais amostras foram partidas ao meio, conforme orientação do eixo de secagem, ficando com as dimensões iguais a 30 x 30 x 15 mm. O eixo com a menor dimensão foi o mesmo da movimentação da água, sendo avaliado nas direções: axial, radial e tangencial. Os demais cantos da amostra foram impermeabilizados para forçar a secagem apenas na direção avaliada.

2.2 Avaliação do fluxo da água

Os corpos de prova foram acondicionados em sala climatizada com temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa igual a $65\% \pm 5\%$. A perda de massa das amostras foi realizada durante 75 dias, até todos obterem massa constante. Estes ensaios foram conduzidos no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, na UFLA. A massa das amostras foi medida em balança eletrônica digital, com precisão de 0,01g, a cada 6 horas na primeira semana, a cada 12 horas na segunda semana e a cada 24 horas até estabilização das massas. Após este período, as amostras foram secas em estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante.

Após acompanhar a secagem das amostras e obter os tempos de secagem e teores de umidades as taxas de fluxo da água livre (TAL), da água adsorvida (TAA) e da água total (TAT) da madeira de *C. citriodora* foram estimados, conforme metodologia adotada por Monteiro et al. (2017) para os diferentes eixos da madeira.

2.3 Medição das pontoações

A medição do diâmetro das pontoações raio-vasculares (PRV) e intervasculares (PIV) foi realizada nos seis corpos de prova intermediários de cada sarrafo. As medições foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFLA. O preparo das amostras e as medições foram realizados conforme Alves e Roswalka (2012).

2.4 Análise dos resultados

Um banco de dados com as informações sobre as taxas de secagem e as PRVs e PIVs foi desenvolvido para cada eixo da madeira. Correlações dos diâmetros das pontoações com as taxas de secagem foram calculadas e modelos de regressão foram ajustados, sendo os melhores selecionados com base no coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS

Os dados referentes aos modelos entre o diâmetro das aberturas das pontoações raio-

vasculares e intervascular com o fluxo da água livre, adsorvida e a secagem total até umidade de equilíbrio nos três eixos da madeira estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Correlação entre as taxas de secagem nos diferentes eixos da madeira de *Corymbia citriodora* e o diâmetro da pontoação raio-vascular e intervascular

Eixo	Raio-vascular	R ²	Intervascular	R ²
Axial	TAL = 0,0005DRV + 0,0054	0,06	TAL = -0,0006DIV + 0,0092	0,02
	TAA = 7E-05DRV + 0,0004	0,19	TAA = -0,0006DIV + 0,0019	0,64
	TAT = 0,0022DRV - 0,0078	0,48	TAT = -0,0009DIV + 0,0038	0,31
Radial	TAL = -0,01DRV + 0,0486	0,36	TAL = 0,0018DIV + 0,0003	0,96
	TAA = -0,0003DRV + 0,0015	0,02	TAA = -0,0003DIV + 0,0009	0,64
	TAT = -0,0032DRV + 0,0153	0,83	TAT = 0,0002DIV + 0,0006	0,40
Tangencial	TAL = 0,003DRV - 0,0112	0,20	TAL = 0,0017DIV - 0,0014	0,31
	TAA = 0,0006DRV - 0,0025	0,86	TAA = -0,0002DIV + 0,0008	0,60
	TAT = 0,0004DRV - 0,0009	0,15	TAT = 0,0001DIV + 0,0006	0,48

Em que: R²: coeficiente de determinação; TAL: taxa de fluxo da água livre; TAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TAT: taxa de fluxo da água total; DRV: diâmetro da pontoação raio-vascular; DIV: diâmetro da pontoação intervascular.

A pontoação raio-vascular e a intervascular na madeira de *Corymbia citriodora* estão apresentados na Figura 1.

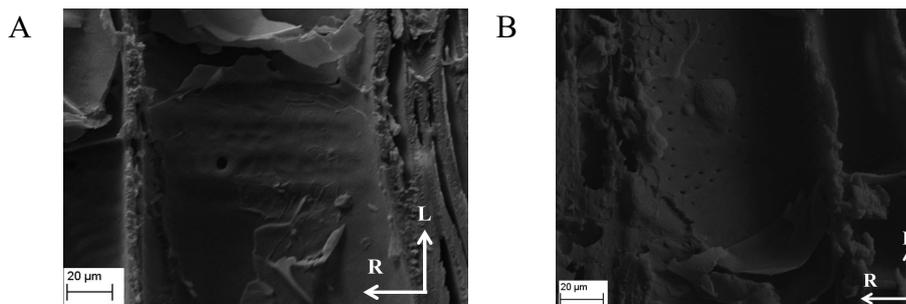


Figura 1. Pontoações na madeira de *Corymbia citriodora*. A – Raio vascular; B – Intervasculares.

4. DISCUSSÃO

A maior abertura da pontoação raio-vascular (PRV) facilitou a movimentação da água livre (TAL), adsorvida (TAA) e água total (TAT) no eixo axial e tangencial da madeira de *Corymbia citriodora* (Tabela 1). Os melhores coeficientes de determinação (R²) ocorreram para a TAT no eixo axial e para a TAA na direção tangencial. Estes resultados demonstram que as PRV auxiliam positivamente no fluxo da água na direção longitudinal e tangencial da madeira. No entanto, comportamento oposto ocorreu na direção radial, quando o aumento na abertura da PRV reduziu o fluxo da água nesta direção, principalmente para a TAL e TAT da

madeira.

Importante considerar que a PRV (Figura 1A) ocorre entre uma célula de parênquima radial e outra de elemento de vaso, que é o principal elemento responsável pelo fluxo de água nas folhosas (Siau, 1971; Kedrov, 2012; Engelund et al., 2013). Nota-se no comportamento apresentado na Tabela 1 que as PRV acabaram favorecendo ainda mais o fluxo de água na direção longitudinal, possivelmente auxiliando na função dos elementos de vasos. A importância das PRV na movimentação da água na madeira é relatada em diversos trabalhos (Siau, 1971; Kedrov, 2012; Engelund et al., 2013).

O fluxo de água na direção tangencial da madeira possivelmente foi favorecido pela presença das PRV devido a inexistência de estruturas anatômicas próprias que estimulem o fluxo da água nesta direção. Diferente dos eixos axial e radial da madeira, que possuem os elementos de vasos e raios, respectivamente para auxiliar no fluxo da água. Assim, na direção tangencial o aumento das PRV apresenta importância para a maior movimentação da água na madeira de *C. citriodora*. Comportamento semelhante ao relatado por Kedrov (2012), que relata a importância das PRV na movimentação transversal da água na madeira.

Por outro lado, na direção radial a maior abertura das PRV dificultou a movimentação da água (Tabela 1). Possivelmente as aberturas entre os raios e os elementos de vaso favoreceram a movimentação da água para as cavidades dos vasos e parênquimas radiais, e devido a metodologia utilizada, com a impermeabilização das faces perpendiculares ao eixo radial, a água teve mais dificuldade em movimentar na madeira.

A pontuação intervascular (PIV) possui aberturas menores, porém mais frequentes quando comparadas com as PRV na madeira de *C. citriodora* (Figura 1B). A maior abertura da PIV reduziu a TAL, TAA e TAT no eixo axial da madeira de *C. citriodora* (Tabela 1). Possivelmente estas aberturas favoreceram caminhos alternativos para o fluxo da água, reduzindo o fluxo nos vasos, principal estrutura responsável pela permeabilidade na madeira.

Na direção radial e tangencial do lenho, as maiores aberturas das PIV permitiram maiores TAL e TAT. A TAL com a PIV, no eixo radial da madeira apresentou R^2 igual a 0,96, melhor correlação da pesquisa. Estes resultados demonstram a importância das PIVs na secagem das faces e cantos de tábuas ou cavacos, bem como na superfície rolante de toras de *C. citriodora*. A relevância das PIV da madeira no fluxo da água é relatada por Kedrov (2012) que apresenta como pontuações numerosas e que tendem a ficar achatadas nas suas áreas de contato, para melhorar a passagem da água. O autor também relata que as paredes adjacentes das PIVs são claramente mais espessas do que em outros segmentos do elemento

vascular, possivelmente devido ao fato da água penetra nas pontoações sob pressão.

No entanto, comportamento inverso ocorreu com TAA na direção radial e tangencial da madeira, quando o aumento na abertura da PIV reduziu o fluxo da água nestas direções. Estes ajustes possivelmente estão relacionados à difusão da água na parede celular dos elementos de vasos. As aberturas das PIVs servem como descontinuidade da parede celular, reduzindo a difusão da água e facilitando a passagem da água líquida e vapor, que movem principalmente na umidade acima do ponto de saturação das fibras (Kedrov, 2012; Engelund et al., 2013).

5. CONCLUSÕES

Pode concluir-se, com a avaliação das correlações entre o diâmetro das pontoações raio-vasculares (PRV) e intervasculares (PIV) com a movimentação da água livre (TAL), adsorvida (TAA) e total (TAT), nos diferentes eixos da madeira de *Corymbia citriodora*, que:

- As maiores aberturas das PRV facilitaram a TAL, TAA e TAT no eixo axial e tangencial, por outro lado reduziram o fluxo destas águas na direção radial da madeira.
- Os maiores valores das PIVs reduziram a TAL, TAA e TAT no eixo axial da madeira de *Corymbia citriodora*.
- Nos eixos radial e tangencial da madeira de *C. citriodora* as maiores aberturas das PIV permitiram maiores TAL e TAT, no entanto reduziram a TAA.

6. REFERÊNCIAS

Alves E, Roswalka LC. Técnicas de microscopia aplicadas ao estudo da interações planta-patógeno na pós-colheita. In: Sonia Maria Alves de Oliveira; Severina Rodrigues de Oliveira Lins; Alice Maria Goncalves Santos. (Org.). Avanços Tecnológicos na Patologia Pós-colheita. 1ed. Recife: EDUFRPE, 2012 (1): 97-122.

Baraúna EEP, Lima JT, Vieira RS, Silva JRM, Monteiro TC. Efeito da estrutura anatômica e química na permeabilidade da madeira de Amapá. Cerne 2014, 20 (4): 529 – 534.

Kedrov GB. Functioning wood. Wulfenia 2012, 19: 57-95.

Monteiro TC, Lima JT, Hein PRG, Silva JRM, Trugilho PF, Andrade HB. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. Scientia Forestalis 2017, 45: 493-505.

Monteiro TC, Lima JT, Silva JRM, Zanuncio AJV, Baraúna EEP. Water flow evaluation in *Eucalyptus* and *Corymbia* short logs. Floram 2018, 25: e20170659-e20170659.

Rezende RN, Lima JT, Paula LER, Hein PRG, Silva JRM. Wood Permeability in *Eucalyptus*

grandis and *Eucalyptus dunnii*. Floresta Ambiente 2017, 25 (1).

Siau JF. Flow in wood. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131 p.

Zanuncio AJV, Carvalho AG, Damásio RAP, Oliveira BS, Carneiro ACO, Colodette JL. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. Revista Arvore 2016, 40: 723-729.

Zanuncio AJV, Lima JT, Monteiro TC, Carvalho AG, Trugilho PF. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. Scientia Forestalis, 2013a, 41 (99): 353-360.

Zanuncio AJV, Monteiro TC, Lima JT, Andrade HB, Carvalho AG. Biomass for energy use of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* logs. BioResources, 2013b, 8 (4): 5159-5168.