

Revista
Ciência, Tecnologia & Ambiente

Orientação de traqueídes na região de nó da madeira de Pinus

Orientation of tracheids in the knot region of Pinus wood

Deise Amaral de Deus¹ , André Scarambone Zaú² , Graciela Ines Bolzon de Muniz³ ,
Silvana Nisgoski³ , Heber dos Santos Abreu⁴ (in memoriam), Dráuzio Correia Gama^{5*} 

¹Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil.

²Departamento de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³Departamento de Engenharia Florestal e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

⁴Laboratório de Química da Madeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológica, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas BA, Brasil. *Autor para correspondência: drauziogama@hotmail.com

Como citar: DEUS, D.A.; ZAÚ, A.S.; MUNIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; ABREU, H.S.; GAMA, D.C., 2024. Orientação de traqueídes na região de nó da madeira de Pinus. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 14, e14263. https://doi.org/10.4322/2359-6643.1414263

RESUMO

Árvores em desenvolvimento estão sujeitas a diversos fatores bióticos e abióticos que podem determinar variações na dimensão das células e arranjo dos elementos anatômicos, sobretudo em região de transição nó-madeira em local de inserção de galho. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a orientação das traqueídes em madeira de nó e madeira sem nó de espécie de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. Utilizou-se cinco árvores oriundas de plantio comercial em Agudos-SP. Foram extraídos ao longo do tronco, discos em cada seção (base, meio e topo) com inserção de nó. De cada seção e tipo de madeira com nó e sem nó, confeccionou-se lâminas histológicas e avaliou-se as traqueídes com auxílio de imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura. Observou-se crescimento com orientação espiralada das traqueídes no início de formação do nó da região de topo e na região do meio do tronco. Na base do tronco não foi possível identificar a “torção” das células. Espessura mais gradual e uniforme das traqueídes foi notado na transição nó-madeira na região de base e espessamento mais heterogêneo nas regiões de meio e topo. Traqueídes em nós apresentam menor incremento com crescimento diferente da madeira livre de nós. O crescimento em espiral de estruturas que formam o galho foi maior em região mais próximo do topo.

Palavras-chave: elemento anatômico, transição nó-madeira, orientação espiralada.

ABSTRACT

Developing trees are subject to various biotic and abiotic factors that can determine variations in the size of cells and arrangement of the anatomical elements, especially in the transition region of knot-wood. This work was done with the objective of analyzing the orientation of the tracheids in knot and wood without knot of *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. It was used five trees of commercial planting in Agudos-SP and extracted along the trunk, discs in each section (base, half and top) with knot insertion. From each section and type of wood with knot and without knot, histological blades were made. Was evaluated tracheids of each section/type with the aid of scanning electronic microscopy images. Growth with spiral orientation of the tracheids was observed at the beginning of the formation of the knot of the top region and in the middle region of the trunk. At the base of the trunk it was not possible to identify the “twist” of the cells. Most gradual and uniform thickness of the tracheids was noticed in the transition knot in the base region and more heterogeneous thickening in the middle and top regions. Tracheids in knots have a lower increase with growth different from wood free from knots. The spiral growth of structures that form the branch was larger in the region closer to the top.

Keywords: anatomical element, knot-wood transition, spiral guidance.



INTRODUÇÃO

Plantações de *Pinus* sp. têm uma grande importância para o setor florestal brasileiro, pela versatilidade na aplicação de sua madeira em diversos usos como produção de polpa celulósica, madeira serrada, laminados, painéis dos tipos aglomerados, compensados, MDF, OSB, lápis, resina e geração de energia (Shimizu et al., 2008; Palermo et al., 2013; Loiola et al., 2021, Lima et al., 2020, 2021).

Árvores em crescimento estão sujeitas a diversos fatores bióticos e abióticos (luz, umidade, fertilidade e competição) que determinam variações na dimensão das células (diâmetro, comprimento e espessura da parede celular), na proporção de lenho inicial e tardio e nos diferentes arranjos e proporções dos elementos anatômicos (Palermo et al., 2003). A madeira é um material heterogêneo com propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas que variam entre espécies, dentro da espécie e até mesmo dentro da própria árvore (Palermo et al., 2013).

As propriedades da madeira estão intimamente relacionadas com as características anatômicas e, portanto, com seu processamento tecnológico (Lima et al., 2020). Dentre os elementos anatômicos nas madeiras de gimnospermas, as traqueídes são as células que mais exercem influência nas propriedades (Lima et al., 2021). Estas células são alongadas, estreitas, pontiagudas e ocupam 95% do volume da madeira exercendo função de sustentação mecânica e condução ascendente de seivas. Possuem paredes secundárias espessas e pontuações areoladas, pelos quais os líquidos passam de célula a célula (Burger e Richter, 1991).

Defeitos na madeira que surgem a partir de sua formação, como rachaduras e empenamentos, são características de elevadas tensões intrínsecas ao crescimento natural das árvores e podem ocorrer tanto em folhosas como em coníferas (Lima e Stape, 2017). Esses defeitos podem ser facilitados ou intensificados a partir da presença de nós na madeira por causarem desvios na direção da fibra afetando a estrutura anatômica da madeira (Rocha et al., 2018), sobretudo em região de transição (junção) nó-madeira, local de inserção do ramo no tronco (Slater et al., 2014).

Nós de madeira, são a porção basal incorporada de um ramo no caule que causa desvios no tecido lenhoso (Rocha et al., 2018). A madeira ao redor do nó é

caracterizada com maior dureza em relação à madeira sem nó (Krutul et al., 2013). Nesse sentido, para estabelecer a melhor aplicabilidade de uma madeira, com aumento da eficiência e produtividade em seus diversos usos, é importante conhecer as características dos componentes anatômicos e suas relações com as propriedades da madeira (Lima et al., 2021) que podem ser feitas tanto em aspecto macroscópico quanto microscópico (Lima et al., 2021).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a orientação das traqueídes em madeira de nó e madeira sem nó de espécie de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm., a fim de auxiliar no reconhecimento da qualidade da estrutura anatômica desses tipos de madeiras contribuindo com a importância econômica para melhores usos e aplicações.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas cinco árvores da espécie de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm de 19 anos de idade extraídos de plantio comercial no município de Agudos-SP, conforme as coordenadas Lat-Long: 22°53'20" S; 47°04'39" W.

Foram retirados três discos por árvore: um disco no ponto de inserção do primeiro nó vivo, aproximadamente a 25% da altura comercial (seção base); um disco no meio da árvore, aproximadamente a 50% da altura comercial (seção meio) e um disco no último ponto de inserção, a 100% da altura comercial (seção topo).

Com auxílio de uma serra modelo Milwaukee M12 foram retiradas as porções do nó e madeira livre de nó presentes em cada disco. Dos discos obtidos de cada seção, foram confeccionados corpos de prova, conforme as Normas de Procedimentos em Estudos de Anatomia da Madeira (Coradin e Muñoz, 1991), da região de nó e região livre de nó (Figura 1).

Os corpos de prova foram colocados em água sob fervura, para a confecção de lâminas histológicas, sendo necessárias duras horas de cozimento em autoclave a uma pressão de 121 atm para amolecimento dos corpos de prova provenientes de nó. Os corpos de prova provenientes da madeira livre de nós foram mantidos sob fervura em placa de aquecimento por 30 minutos.

O seccionamento dos corpos de prova em lâminas histológicas foi realizado em micrótomo de deslize LEICA

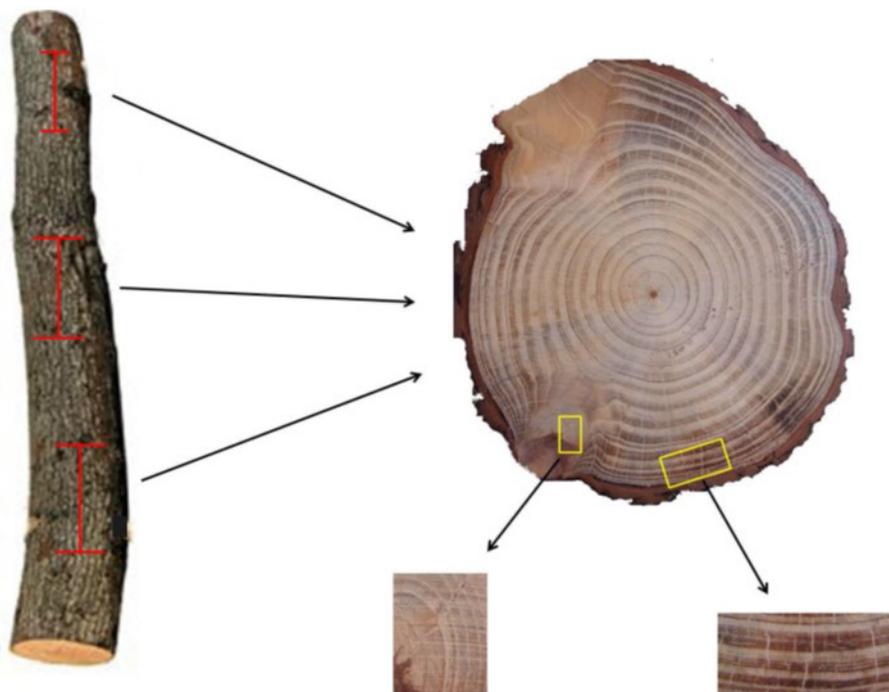


Figura 1. Esquema de obtenção do material para avaliação da orientação das traqueídes ao longo do tronco em *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

SM 2000R com espessura variando de 12 a 26 micrômetros. Os cortes histológicos foram tratados segundo o protocolo para análise anatômica sendo clarificados pelo hipoclorito de sódio em solução aquosa 50% e corados por safranina hidroalcoólica a 50% (Sass, 1958).

Lâminas permanentes do material foram confeccionadas realizando a desidratação dos cortes em série etílica ascendente, posteriormente transferindo-os para xilol P.A. (Johansen, 1940; Sass, 1958) e com a utilização de permount.

As fotomicrografias foram obtidas ao microscópio Olympus BH2 com autofluorescência (comprimento de onda de excitação em 470-490 nm; emissão em 515-565 nm) Provido de equipamento fotográfico PM-10 AB (Microscopia Eletrônica de Varredura), junto ao Laboratório de Ultraestrutura Celular e Biofísica Hertha Meyer da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Foram realizadas avaliações das traqueídes em cada seção (base, meio e no topo) de cada indivíduo perfazendo um total de 30 observações do elemento anatômico para cada tipo (nó e madeira sem nó). Dos quais foram realizadas mensurações dos elementos celulares de cinco amostras seguindo as normas do Iawa Committee (1989), resultando em 180 medições, de cada variável: comprimento total (CT), Diâmetro (DT), Diâmetro

do Lume (DL) e espessura da parede. A espessura da parede celular foi calculada segundo a fórmula: $(DT - DL)/2$, com base em Souza et al. (2005). Os parâmetros considerados para o estudo foram o comprimento total (μm), diâmetro total (μm), diâmetro do lume (μm) e a espessura da parede (μm), conforme Evert (2013), expressos em valores médios com desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado crescimento com orientação espiralada das traqueídes no início de formação do nó nas três regiões (base, meio e no topo) do fuste, mas foi observado majoritariamente em nós da região de topo. Na Figura 2A, é possível observar (conforme indica o círculo), a área de transição entre o nó e a madeira sem nó, em que as traqueídes do nó são conectadas às traqueídes da madeira. Em Figura 2B, as traqueídes do nó são evidenciadas em posicionamento perpendicular (conforme indica o círculo), às traqueídes da madeira.

Em alguns nós, localizados na região de meio do tronco, a mesma situação foi observada; porém, em nós localizados na base do tronco não foi possível identificar a “torção” das células.

Na transição nó-madeira em seções de nó da região de base (Figura 3) foi observada espessura mais gradual e

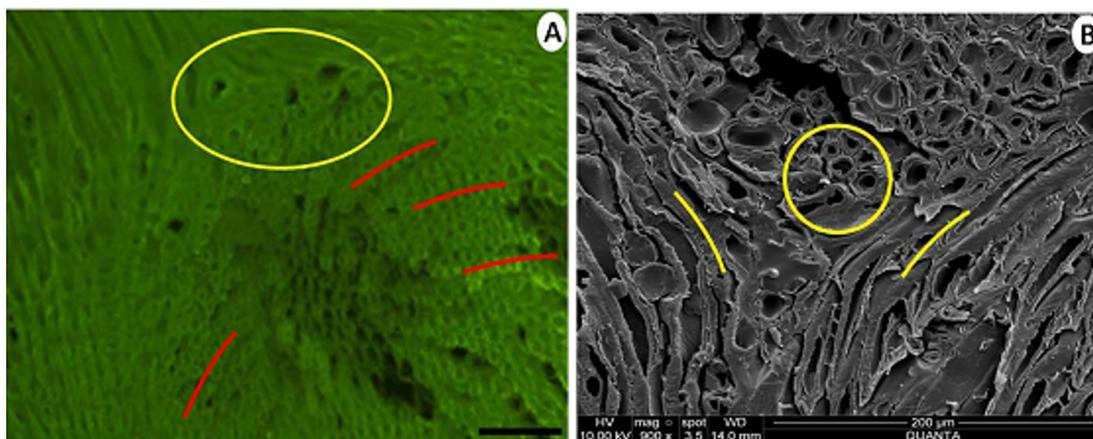


Figura 2. (A): Traqueídes de nó em seção transversal na região de topo do fuste, evidenciando a orientação espiralada das células (setas em vermelho) e transição nó-madeira (amarelo). Barra = 100 μ m; (B): detalhes da orientação transversal das traqueídes do nó, posicionadas perpendicularmente às traqueídes da madeira adjacente em tronco de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

uniforme, enquanto regiões de meio e topo apresentaram traqueídes com espessamento mais heterogêneo (Figura 4).

O crescimento das traqueídes com orientação espiralada observado no início de formação do nó no topo e meio do tronco, com maior destaque em nós da região de topo e sem essa orientação nas células na posição da base do tronco, pode estar associada a orientação não-uniforme do ângulo das microfibrilas dentro da parede celular nas traqueídes que são altamente variáveis em padrão e extensão em traqueídes normais e de compressão, segundo Sedighi-Gilani et al. (2005).

Nas três porções do tronco analisadas (base, meio e topo) as medidas das traqueídes formadas nos “nós” apresentam valores mais baixos e com maior variação de tamanho, em termos comparativos aos trechos de “madeira sem nós” (Tabela 1).

A variação das dimensões ao longo da posição, o comprimento das traqueídes foi decrescente da base ao topo para os dois tipos de madeira: com nó e sem nó. E valores maiores na posição do meio para madeira com nó e valores maiores na posição da base para madeira sem nó, foram encontrados tanto no diâmetro total quanto para o diâmetro do lume. Já a espessura da parede, mostrou maior valor na posição do topo para ambos os tipos de madeira.

Nesse aspecto, ainda foi visto espessura mais gradual e uniforme das traqueídes encontradas nas seções de nó da região de base, evidenciado pelo baixo desvio padrão ($\pm 0,39$) e com espessamento mais heterogêneo

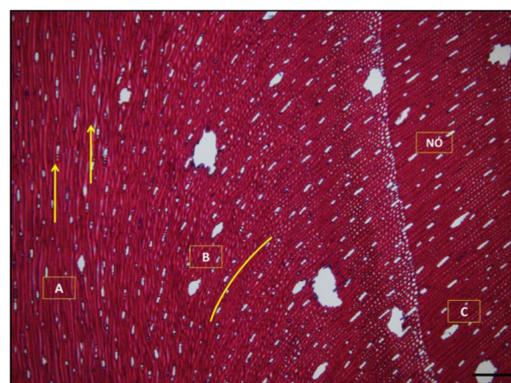


Figura 3. Zona de transição nó-madeira da região da base, evidenciando o padrão de crescimento das traqueídes entre o nó (vivo) e a madeira circundante (zona de transição) em tronco de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. (A): direção tangencial do fuste; (B): células em grã inclinada; (C): seção transversal das traqueídes de formação do nó, com distinção do anel de crescimento (Barra=100 μ m).

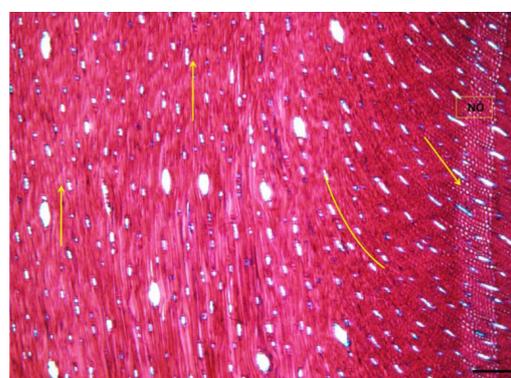


Figura 4. Zona de transição nó-madeira, evidenciando espessamento menos uniforme no crescimento das traqueídes (Barra=100 μ m) observado na região de topo em tronco de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

Tabela 1. Medidas de comprimento, diâmetro e espessura das traqueídes por seção do tronco (base, meio e topo), em cada um dos indivíduos amostrados dos nós e da madeira livre de nós de *Pinus elliottii* var. *elliotti*.

Nó	Comprimento (μm)			Diâmetro total (μm)		
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo
Média	2146	1988	1317	48,38	52,00	43,47
(\pm dp)	($\pm 88,92$)	($\pm 118,50$)	($\pm 112,30$)	($\pm 3,43$)	($\pm 2,59$)	($\pm 4,34$)
Madeira	Comprimento (μm)			Diâmetro total (μm)		
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo
Média	3644	3389	3125	61,21	57,31	55,40
(\pm dp)	($\pm 139,00$)	($\pm 142,60$)	($\pm 76,35$)	($\pm 1,65$)	($\pm 1,22$)	($\pm 1,32$)
Nó	Diâmetro do lume (μm)			Espessura da parede (μm)		
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo
Média	23,43	27,84	16,93	11,99	11,81	13,27
(\pm dp)	($\pm 3,60$)	($\pm 5,52$)	($\pm 1,35$)	($\pm 0,39$)	($\pm 3,14$)	($\pm 1,69$)
Madeira	Diâmetro do lume (μm)			Espessura da parede (μm)		
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo
Média	29,91	25,64	21,66	15,65	16,24	16,42
(\pm dp)	($\pm 1,78$)	($\pm 1,18$)	($\pm 2,05$)	($\pm 1,42$)	($\pm 0,79$)	($\pm 1,21$)

Em que dp = desvio padrão da média.

em regiões de meio e topo, parece seguir a orientação de células de lenho tardio ao longo do fuste que possuem paredes mais espessas da base ao topo, conforme Trianoski et al. (2013).

Müller et al. (2017), avaliando a variação dimensional de traqueídes ao longo do fuste da *Sequoia sempervirens* Endl (Lamb.), notaram espessura da parede celular sem padrão significativo de variação, embora mais espesso do meio ao topo, principalmente na região intermediária da madeira (sentido medula-casca).

Embora o lenho juvenil apresente traqueídes com paredes celulares delgada e lumens grandes e o lenho tardio com paredes das traqueídes espessas e lumens menores (Palermo et al., 2003), a espessura dos traqueídes pode atingir sua uniformidade muito tardiamente em comparação ao comprimento, o que denota ainda alta dificuldade na distinção inicial entre lenho juvenil e adulto, quando for o caso, em função dessas mudanças graduais nas células (Vidaurre et al., 2012).

Analisando parâmetros anatômicos de traqueídes das madeiras de quatro procedências de *Pinus* sp., Souza et al. (2005) verificaram que a espessura da parede pode se revelar estável ao longo do tronco, sem maiores variações, enquanto o diâmetro total pode variar de forma irregular, apresentando maiores valores, hora na base, hora no topo. Em trabalhos realizados com madeira de diferentes espécies de *Pinus* sp., Mendonça (1982), Muñiz (1993), Tomazello Filho (1987), Corrêa e Bellote

(2011) e Vivian et al. (2015), revelaram variações das espessuras em traqueídes com espessuras mais finas na base e maiores incrementos ao meio da árvore.

Nesse sentido, Bendtsen e Senft (1986), explicam que a espessura da parede celular varia de forma independente e são controlados por processos fisiológicos diferentes dentro da copa. Além de diferenciação de células de traqueídes ocorrerem associadas a regulação hormonal, como foi observado por Akiyoshi et al. (2020), acerca da ação dos genes (PtaVNS) em *Pinus taeda* Linne.

O espessamento mais gradual na região de madeira com nó pode ter relação com a presença de lignina em concentração, possivelmente, maiores que na região de madeira sem nó, uma vez que ocorrem nos nós, de acordo com Willför et al. (2003), um gradiente de concentrações de ligninas com maior percentual nas porções inseridas dentro do tronco, diminuindo à medida que o nó é projetado para fora do tronco. Entretanto, a maturação da lignificação em traqueídes de madeira com nó ocorre mais avançada do que em madeira sem nó (Deus et al., 2024).

A respeito de traqueídes de nó evidenciadas em posicionamento perpendicular às traqueídes da madeira, isso denota uma orientação da formação do ramo em sentido externo ao seu ponto de origem. Nesse sentido, Slater et al. (2014) estudando o padrão anatômico e grãos de garfos de *Corylus Avellana* L., encontraram volumes do lúmen das células na madeira de junção

(nó-madeira) em 26,3% dos encontrados na madeira do caule e com tortuosidades dos tecidos na madeira da junção se desviando de uma linha reta por 14,62 vezes mais que no caule. Os autores ainda observaram que as seções transversais da madeira de caule e da junção contrastaram-se em orientação dos grãos de madeira com tecidos da junção irregular perto do ápice da junção.

Nesse ponto de transição em que as traqueídes do nó são conectadas às traqueídes da madeira, é a região em que Drénou et al. (2020) denominaram como 'zona de captura de grãos', mencionando como ponto de formação suporte mecânico a junção ramificada do ramo. Desse modo, nota-se que a parte inferior da região de inserção do ramo, localizada na transição nó-madeira, pode ser considerada madeira de reação (compressão).

Em conformidade com Aiso-Sanada et al. (2018), o aumento na concentração de lignina nas paredes de traqueídes ocorre como reforço na sustentação mecânica, e isso é característico em madeira de reação, o que provoca mudanças nas características anatômicas. Conforme Li et al. (2014), madeira de compressão apresenta paredes das traqueídes mais espessas e maior ângulo de microfibrilas.

Burger e Richter (1991), destacam de que a dimensão dos traqueídes e suas características de formação podem variar conforme localização da célula no tronco. E que a formação de madeira de reação é regulada por interações entre hormônios e outras substâncias, ressaltam Du e Yamamoto (2007).

Ainda nesse aspecto, Evert (2013) enfatiza que traqueídes bifurcadas também são observadas nas regiões de nó, principalmente na base e que são observadas ocasionalmente no lenho de compressão.

CONCLUSÕES

Traqueídes de nós apresentam menor incremento no seu crescimento e de forma distinta comparado com as traqueídes em madeira livre de nós.

Quanto mais próximo do topo, maior o crescimento em espiral das estruturas celulares na região que formam o ramo (transição nó-madeira).

REFERÊNCIAS

AISO-SANADA, H., ISHIGURI, F., IRAWATI, D., WAHYUDI, I. & YOKOTA, S., 2018. Reaction wood

anatomy and lignin distribution in *Gnetum gnemon* branches. *Journal of Wood Science*, vol. 64, no. 6, pp. 872-879. <http://doi.org/10.1007/s10086-018-1772-2>.

AKIYOSHI, N., NAKANO, Y., SANO, R., KUNIGITA, Y., OHTANI, M. & DEMURA, T., 2020. Involvement of VNS NAC-domain transcription factors in tracheid formation in *Pinus taeda*. *Tree Physiology*, vol. 40, no. 6, pp. 704-716. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpz106>. PMID:31821470.

BENDTSEN, B. & SENFT, J., 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. *Wood and Fiber Science*, vol. 18, no. 1, pp. 21-38.

BURGER, L.M. & RICHTER, H.G., 1991. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel. 154 p.

CORADIN, V.T.R. & MUÑIZ, G.I.B., 1991. *Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira. 1: Angiosperma; 2: Gimnospermae*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 19 p.

CORRÊA, R.S. & BELLOTE, A.F.J., 2011. Influência do solo na dimensão dos traqueídeos e densidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 31, no. 66, pp. 93-102. <http://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.93>.

DEUS, D.A., ZAÚ, A.S., MUNIZ, G.I.B., NISGOSKI, S., SANTOS ABREU, H. & GAMA, D.C., 2024. Presence of lignin and cellulose intensity signals in knotted and knotless wood of *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. *International Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 14, no. 2, pp. 25-39.

DRÉNOU, C., RESTREPO, D. & SLATER, D., 2020. Demystifying tree forks: vices and virtues of forks in arboriculture. *Journal of Botany Research*, vol. 3, no. 1, pp. 100-113. <http://doi.org/10.36959/771/566>.

DU, S. & YAMAMOTO, F., 2007. An overview of the biology of reaction wood formation. *Journal of Integrative Plant Biology*, vol. 49, no. 2, pp. 131-143. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00427.x>.

EVERT, R.F., 2013. *Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento*. São Paulo: Blucher. 726 p.

- IAWA COMMITTEE, 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal*, no. 10, pp. 220-332.
- JOHANSEN, D.A., 1940. *Plant microtechnique*. New York: McGraw-Hill.
- KRUTUL, D., ZIELENKIEWICZ, T., ZAWADZKI, J., RADOMSKI, A., ANTCZAK, A. & DROŹDŹEK, M., 2013. Influence of knots on the content of chemical substances in knot adjacent oak wood (*Quercus petraea* Liebl.). *Forestry and Wood Technology*, vol. 83, pp. 112-123.
- LI, X., EVANS, R., GAPARE, W., YANG, X. & WU, H.X., 2014. Characterizing compression wood formed in radiata pine branches. *IAWA Journal*, vol. 35, no. 4, pp. 385-394. <http://doi.org/10.1163/22941932-00000073>.
- LIMA, I.L. & STAPE, J.L., 2017. Caracterização da madeira serrada em clones de Eucalyptus. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 37, no. 89, pp. 55-62. <http://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1113>.
- LIMA, I.L.D., OLIVEIRA, I.R.D., BARBOSA, J.D.A. & RANZINI, M., 2020. Variação em propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. *Advances in Forestry Science*, vol. 7, no. 4, pp. 1231-1240. <http://doi.org/10.34062/afs.v7i4.10262>.
- LIMA, P.A.F., DIAS, V.S., JESUS, A.N.M., SANTOS, A.M., VIEIRA, T.S., MELO, J.A.S., LIMA, L.F., ALVES, T.S., SOUSA, K.G.A. & SILVA, V.M., 2021. Características anatômicas e suas influências nas propriedades da madeira: um referencial teórico. Capítulo 1, 14-31p. In: W.V. EVANGELISTA, ed. *Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisa e atualidades*. Guarujá: Editora Científica Digital. 284 p.. <http://doi.org/10.37885/211006363>.
- LOIOLA, P.L., KLITZE, R.J., ROCHA, M.P. & VIDAURRE, G.B., 2021. Physical properties of wood *Pinus caribaea* var *Caribaea*, *Pinus caribaea* var *Hondurensis* and *Pinus oocarpa* for pencil production. *Floresta*, vol. 51, no. 2, pp. 354-362.
- MENDONÇA, M.A., 1982. *Características da madeira de Pinus elliottii com diferentes idades e propriedade do papel*. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 124p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal.
- MÜLLER, B.V., NISGOSKI, S. & MUÑIZ, G.I.B., 2017. Variação dimensional dos traqueóides axiais ao longo do fuste de *Sequoia sempervirens* Endl (Lamb.). *Scientia Agraria*, vol. 16, no. 4, pp. 510-515.
- MUÑIZ, G.I.B., 1993. *Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus elliottii Engelm. e Pinus taeda L.* Curitiba: Setor de Ciências Agrária, Universidade Federal do Paraná. 252p. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal.
- PALERMO, G.P.D.M., LATORRACA, J.V.D.F., REZENDE, M.A.D., NASCIMENTO, A.M.D., SEVERO, E.T.D. & ABREU, H.D.S., 2003. Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. *Floresta e Ambiente*, vol. 10, no. 2, pp. 47-57.
- PALERMO, G.P.D.M., LATORRACA, J.V.D.F., SEVERO, E.T.D., NASCIMENTO, A.M.D. & REZENDE, M.A.D., 2013. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. *Revista Árvore*, vol. 37, no. 1, pp. 191-200. <http://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100020>.
- ROCHA, M.F.V., COSTA, L.R., COSTA, L.J., ARAÚJO, A.C.C.D., SOARES, B.C.D. & HEIN, P.R.G., 2018. Wood knots influence the modulus of elasticity and resistance to compression. *Floresta e Ambiente*, vol. 25, no. 4, pp. e20170906. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.090617>.
- SASS, J.E., 1958. *Botanical microtechnique*. 3. ed. Ames-Iowa: The Iowa State University Press. 228p.. <http://doi.org/10.31274/isudp.25>.
- SEDIGHI-GILANI, M., SUNDERLAND, H. & NAVI, P., 2005. Microfibril angle non-uniformities within normal and compression wood tracheids. *Wood Science and Technology*, vol. 39, no. 6, pp. 419-430. <http://doi.org/10.1007/s00226-005-0022-0>.
- SHIMIZU, J.Y., SHIMIZU, J.Y. & FLORESTAS, E., 2008. *Pinus na silvicultura brasileira*. Colombo: Embrapa Florestas. 223 p.
- SLATER, D., BRADLEY, R.S., WITHERS, P.J. & ENNOS, A.R., 2014. The anatomy and grain pattern in forks of hazel (*Corylus avellana* L.) and other tree species. *Trees (Berlin)*, vol. 28, no. 5, pp. 1437-1448. <http://doi.org/10.1007/s00468-014-1047-5>.

SOUZA, M.R., VICENTE, A.T.V., MOURA, V.P.G. & FIORENTINI, E.A., 2005. *Análise de parâmetros anatômicos de traqueóides axiais das madeiras de quatro procedências de Pinus*. Brasília, DF: Embrapa. 22 p.

TOMAZELLO FILHO, M., 1987. Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa* estrutura anatômica e quantificação. *IPEF*, vol. 37, pp. 61-68.

TRIANOSKI, R., MATOS, J.L.M., IWAKIRI, S. & PRATA, J.G., 2013. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. *Floresta*, vol. 43, no. 3, pp. 503-510. <http://doi.org/10.5380/ufv.v43i3.28252>.

VIDAURRE, G.B., LOMBARDI, L.R., OLIVEIRA, J.T.D.S. & ARANTES, M.D.C., 2012. Lenho juvenil e

adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, vol. 18, no. 4, pp. 469-480. <http://doi.org/10.4322/floram.2011.066>.

VIVIAN, M.A., SEGURA, T.E.S., BONFATTI JÚNIOR, E.A., SARTO, C., SCHMIDT, F., SILVA JÚNIOR, F.G., GABOV, K. & FARDIM, P., 2015. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. *Scientia Forestalis*, vol. 43, no. 105, pp. 183-191.

WILLFÖR, S., HEMMING, J., REUNANEN, M. & ECKERMAN, C., 2003. Phenolic and lipophilic extractives in Scots pine knots and stem wood. *Holzforchung*, vol. 57, no. 1, pp. 27-36. <http://doi.org/10.1515/HF.2003.054>.