




Nota Técnica

Imbuia multissecular: caracterização morfológica das fibras da madeira de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso no sentido radial

Ancient imbuia tree: morphological characterization of wood fibers from *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso in the radial direction

Magnos Alan Vivian¹ 
Marcelo Callegari Scipioni¹ 
Thaís do Nascimento¹ 
Olávio Rosa Neto¹ 

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC, Brasil

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi realizar a avaliação morfológica das fibras da madeira de imbuia (*Ocotea porosa*) ao longo das camadas de crescimento de uma árvore multissecular. A amostra utilizada foi resgatada em 2018 de um corte ilegal e doada à UFSC pela Polícia Militar Ambiental de Santa Catarina. Foi retirado um disco a 2,3 m de altura, sendo medida a série completa de crescimento da medula à casca. A amostra foi datada com outras árvores vivas nos seus primeiros 91 anos por pesquisadores colaboradores que concluíram que esta apresenta 533 anos em um raio de 95 cm. A partir disso, retirou-se uma bagueta radial do disco, que foi marcada em porções a cada 10% no sentido medula-casca (0% = próximo à medula, 100% = próximo à casca), totalizando 11 posições. Cada uma dessas porções foi submetida ao processo de maceração, visando à individualização das fibras para mensuração das dimensões de comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular, bem como dos indicadores anatômicos de fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel. A árvore apresentou um ritmo de crescimento oscilante ao longo de sua vida, o que se constatou pelos diferentes números de anéis nas porções radiais amostradas, indicando períodos de crescimento mais lento e outros mais acelerados. As dimensões das fibras e os indicadores anatômicos variaram de forma significativa no sentido radial (medula-casca), com exceção do diâmetro do lúmen e do índice de enfiamento. Estudos com árvores centenárias ou multisseculares são raros, assim, tais avaliações possibilitam conhecer um pouco mais sobre uma das espécies mais relevantes do sul do Brasil.

Palavras-chave: Anatomia da madeira; Árvores gigantes; Dimensões das fibras; Dendrocronologia

ABSTRACT

The objective of the present study was to execute the morphological evaluation of the fibers of the imbuia wood (*Ocotea porosa*), along the growth layers of an ancient imbuia tree. The sample used was rescued in 2018 from an illegal cut and donated to UFSC by the Environmental Military Police of Santa Catarina state. A disc was removed at a height of 2.3 m, and the complete series of growth from pitch to bark was measured. The sample was dated with other living trees in its first 91 years by the collaborating researchers, they concluded that the sample had 533 years old in a 95 cm of ray. From this, a radial shape of the disc was removed, which was marked in portions every 10% in the pitch-bark direction (0% = close to the pitch, 100% = close to the bark), totaling 11 positions. Each sample was submitted to maceration process, aiming the individualization of the fibers to measure the dimensions of length, width, lumen diameter and wall thickness, as well as the anatomical indicators of wall fraction, flexibility coefficient, felting index and Runkel index. The tree showed an oscillating growth rate throughout its life, which was evidenced by the different number of rings in the sampled radial portions, indicating slower growth periods and others accelerated. The dimensions of the fibers and the anatomical indicators varied significantly in the radial direction (pitch-bark), with the exception of the lumen diameter and the felting index. Studies with ancient or old trees are rare, so such evaluations make it possible to know a little more about one of the most relevant species in southern Brazil.

Keywords: Wood anatomy; Giant trees; Fiber dimensions; Dendrochronology

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre crescimento, histórico e características da madeira de árvores centenárias ainda são incipientes no Brasil, pouco se sabe sobre as grandes árvores brasileiras, especialmente pela raridade de indivíduos com diâmetros superiores a 150 cm (SCIPIONI *et al.*, 2019) em uma paisagem altamente fragmentada devido ao desmatamento (METZGER *et al.*, 2009). As grandes árvores remanescentes podem fornecer informações importantes sobre o crescimento e as características da madeira ao longo da vida da árvore.

Em virtude dessa exploração, restaram poucas imbuias (*Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso) de grande porte, com destaque para a importância da espécie como árvore símbolo do estado de Santa Catarina, por seu valor econômico nos ciclos extrativistas no século XX (SCIPIONI, 2019). Devido à qualidade da madeira, a imbuia foi e continua sendo muito explorada. Atualmente, encontra-se na lista nacional oficial da flora brasileira ameaçada de extinção, com status de “em perigo”, publicada na

Portaria nº 443, de 2014, do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2014), e vulnerável na lista vermelha de espécies ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (VARTY; GUADAGNIN, 1998). De acordo com o Scipioni (2019), a imbuia é um exemplo de uma árvore nativa de grande porte com potencial de conservação e uso para educação ambiental, dendrocronologia, conservação da história e uso turístico em unidades de conservação como parques ou ambientes urbanos.

A imbuia pertence ao grupo das folhosas, família Lauraceae, podendo ser definida como uma árvore perenifólia a semidecídua, que pode atingir até 30 m de altura e 320 cm ou mais de diâmetro na idade adulta. A espécie é característica da Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta de Araucária, que ocorre naturalmente no sul do Brasil e nos Estados de SP, RJ e MG (CARVALHO, 2003). Apresenta madeira de ótima qualidade e alta durabilidade, sendo muito valorizada e visada, especialmente para movelaria e construção civil. Ainda de acordo com o mesmo autor, a imbuia é, possivelmente, a espécie arbórea mais longeva da Floresta de Araucária, podendo ultrapassar os 500 anos de idade (CARVALHO, 2003).

Existem várias formas de se conhecer mais sobre a vida e as características de árvores, como a dendrocronologia e a análise anatômica/morfológica dos elementos celulares, ferramentas que possibilitam estimar idade, histórico e potencialidades em estudos ecológicos e climáticos. A dendrocronologia, por exemplo, é uma ciência que se baseia no estudo dos anéis de crescimento da árvore, podendo ser aplicada para a imbuia, pois esta apresenta anéis bem formados e distintos (REIS-AVILA; OLIVEIRA, 2017).

Em relação à anatomia da madeira, entre os principais elementos presentes nas madeiras de folhosas, como a imbuia, estão as fibras, que são células alongadas e de extremidades afiladas, com paredes geralmente espessas e maior dimensão no sentido do eixo da árvore, as quais são responsáveis pela sustentação mecânica, bem como vasos, raios e parênquima axial (CORADIN; CAMARGOS, 2002; SCHWEINGRUBER; BÖRNER; SCHULZE, 2006; CURY; TOMAZELLO FILHO, 2011). Conforme estudo realizado por Cury e Tomazello Filho (2011), a madeira de imbuia apresenta fibras septadas,

vasos com porosidade difusa, solitários e múltiplos, com placas de perfuração simples, parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, raios bisseriados na maioria e alguns trisseriados. Além disso, a espécie apresenta madeira dura, moderadamente pesada, cerne com coloração variável, de pardo-amarelado ao pardo-acastanhado, textura média e cheiro característico agradável (CARVALHO, 2003; MARCHESAN *et al.*, 2006).

Schöngart *et al.* (2017) mencionam que a dendrocronologia se dá por meio da análise dos anéis de crescimento, que possibilitam estudar o crescimento das árvores e sua relação com variáveis do ambiente, sendo uma ferramenta indispensável para estudos relacionados às ciências florestais e ambientais. Ainda de acordo com os mesmos autores, a dendrocronologia pode ser subdividida em diversas áreas, como: climatologia, ecologia, hidrologia, arqueologia e bioquímica, bem como ser utilizada com precisão no manejo florestal. Roquette, Lobo e Curado (2019) reforçam que xilema constitui um verdadeiro arquivo natural que permite o registro das variáveis climáticas na madeira e pode ser de grande utilidade para a compreensão dos impactos antrópicos sobre o clima. Dessa forma, a partir de uma amostra de madeira datada ao longo do sentido radial de uma árvore multissecular de imbuia, objetivou-se avaliar a morfologia das fibras em escala temporal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparo do material

Para a realização do presente estudo foi utilizada a madeira de imbuia (*Ocotea porosa*) proveniente de uma apreensão realizada pela Polícia Militar Ambiental de Santa Catarina, referente ao corte ilegal para confecção de palanques de cerca, no município de Vargem Bonita, Santa Catarina. O episódio do crime ambiental pode ser verificado em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-50578637> (MAGENTA, 2019).

Utilizou-se um disco que foi retirado do tronco parcialmente desdobrado, com incremento completo da medula à casca, na altura de 2,30 m. Essa posição foi utilizada

em razão da base da árvore estar incompleta e apresentar podridão na parte central, como pode ser observado na Figura 1. A amostra foi cortada com 15 cm de espessura para evitar rachaduras na madeira, com auxílio de motosserra (Stihl MS 661) adaptada com um sabre de 1 m de comprimento. O disco foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, onde foi preparado e lixado em lixadeira de fita profissional (Maksiwa, modelo LIEC). A partir do disco de madeira foi confeccionada uma amostra radial, com auxílio de motosserra, no sentido medula-casca (Figura 2), para análise dendrocronológica e da morfologia das fibras.

Figura 1 – Imbuia apreendida pela Polícia Militar Ambiental de Santa Catarina, e utilizada no estudo



Fonte: Polícia Militar Ambiental de Santa Catarina (2019)

2.2 Dendrocronologia

Pesquisadores colaboradores (FONTANA *et al.*, dados não publicados) realizaram a construção da cronologia da amostra da imbuia multissecular com o uso de 10 árvores da mesma espécie do sítio de Catanduvas/SC, com data de coleta conhecida. Dois raios por árvore foram coletados com trado de incremento de 40 cm

de comprimento e 0,51 mm de diâmetro (Pressler, Haglöf). Todas as amostras foram lixadas com papel abrasivo com diferentes granulometrias (80-1500 grãos cm^{-2}) e datadas sob estereomicroscopia. Posteriormente, as amostras foram escaneadas em imagens em alta resolução (2400 DPis, Scanner Epson 12000XL). Na imagem digital, os anéis de crescimento foram medidos usando o programa Cybis CooRecorder, versão 7.8.1 (LARSSON, 2014a) com precisão de 0,01 mm.

A verificação das medidas dos anéis de crescimento e as correlações entre os incrementos radiais das árvores foram realizadas pelo programa de datação CDDendro - Cybis dendro, versão 7.8.1 (LARSSON, 2014b). Os valores dos incrementos das seções das árvores selecionadas foram transferidos para um formato de arquivo de saída Tucson. As avaliações de datação e o controle das medidas das larguras dos anéis de crescimento foram realizados no software COFECHA (HOLMES, 1983). Na sequência, com as informações repassadas pelos pesquisadores colaboradores e marcações de datações dos anéis na amostra radial, definiu-se que a árvore foi derrubada em 2017. A partir disso, foram marcadas e retiradas porções de 2 x 2 x 5 cm (radial, tangencial e axial) a cada 10% do sentido radial da amostra (raio = 95,0 cm), sendo 0% = próximo a medula e 100% = próximo a casca, totalizando 11 posições. Em cada uma das porções amostradas contou-se o número de anéis verdadeiros e relacionou-se com a idade e ano de ocorrência, com intuito de obter informações sobre o histórico e ritmo de crescimento da árvore ao longo de sua vida. Na Figura 2 é possível observar a amostra radial antes e após a marcação dos anéis e dos períodos históricos.

Figura 2 – Amostra radial: A – antes da marcação dos anos; B – após a marcação dos anos



Fonte: Autores (2021)

2.3 Caracterização morfológica das fibras no sentido radial

Para determinação das dimensões das fibras em cada posição, as amostras foram cortadas em pequenos fragmentos (palitos) e depositadas em tubos de ensaio contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção 5:2:1) visando à separação/individualização das fibras dos demais componentes celulares. Os tubos foram mantidos em banho-maria, a 100°C, por um período de aproximadamente 1 h, até que ocorresse a individualização dos elementos (conforme metodologia descrita por SARTO, 2012). Após a individualização das fibras, estas foram lavadas e mantidas nos tubos de ensaio com água destilada até a preparação das lâminas.

Após a montagem das lâminas, foram obtidas imagens das fibras⁹ com o auxílio do microscópio marca Leica, modelo DM500, com câmera acoplada (software LAS EZ), nos aumentos de 400x (largura e diâmetro do lúmen) e 40x (comprimento). Na sequência, utilizou-se um software específico para mensuração do comprimento, largura e diâmetro de lúmen das fibras, baseando-se nas normas da IAWA (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE, 1989). Foram mensuradas 35 fibras para cada porção do lenho amostrada. Após a obtenção dessas medidas, calcularam-se: espessura da parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfeltramento, de acordo com as Equações (1), (2), (3), (4) e (5) a seguir:

$$E = \left(\frac{L - DL}{2} \right) \quad (1)$$

$$FP = \left(\frac{2.E}{L} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$IR = \left(\frac{2.E}{DL} \right) \quad (4)$$

$$IE = \left(\frac{C}{\frac{L}{1000}} \right) \quad (5)$$

Em que: E = espessura de parede celular, μm ; L = largura da fibra, μm ; DL = diâmetro do lúmen, μm ; C = comprimento da fibra, mm; FP = fração parede, %; CF = coeficiente de flexibilidade, %; IR = índice de Runkel; IE = índice de enfiamento.

2.4 Análises estatísticas

A variação radial (medula-casca) das dimensões das fibras foi analisada a partir de um delineamento inteiramente casualizado, através da análise de variância (ANOVA), sendo aplicado o teste de Tukey, com nível de 5% de probabilidade de erro. Correlações entre as variáveis anatômicas, idade e quantidade de anéis foram calculadas por meio de correlação de Pearson, considerando o nível de significância 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, podem ser observados os parâmetros temporais e números de anéis de crescimento obtidos nas diferentes posições radiais avaliadas. A dendrocronologia da amostra confirmou que apresentava 533 anos de idade. A partir do conhecimento do ano de queda da árvore, 2017, foi possível estimar, de forma retroativa, que a árvore se estabeleceu em 1484. Pode-se observar o número de anéis de crescimento em cada porção avaliada no sentido medula à casca, idade média e período. A árvore apresentou um menor número de anéis de crescimento, com base na contagem em cada porção de amostragem, entre as posições 20 a 40% (1555 a 1613), refletindo em um período de crescimento mais acelerado quando a planta tinha entre 71 e 129 anos de idade (Tabela 1). Na Figura 3 (A e B), é possível comprovar tal comportamento, onde os anéis são mais largos, indicando desenvolvimento radial mais favorável da árvore.

Tabela 1 – Parâmetros obtidos ao longo das posições amostradas, a cada 10% do sentido radial

Posição (%)	Porção do raio (cm)	Nº de anéis (anos)	Intervalo de idade (anos)	Idade média (anos)	Período (anos)	Período médio (anos)
0	0,0	6	0-6	3	1484-1490	1487
10	9,5	11	44-55	50	1528-1539	1534
20	19,0	5	71-76	74	1555-1560	1558
30	28,5	4	93-97	95	1577-1581	1579
40	38,0	5	124-129	127	1608-1613	1611
50	47,5	11	160-171	166	1644-1655	1650
60	57,0	13	196-209	203	1683-1696	1690
70	66,5	15	266-281	274	1750-1765	1758
80	76,0	16	346-362	354	1830-1846	1838
90	85,5	10	443-453	448	1927-1937	1932
100	95,0	16	517-533	525	2001-2017	2009
Total				533	1484-2017	

Fonte: Autores (2021)

A partir da posição de 50% (>160 anos), o número de anéis de crescimento por posição foi maior, indicando que a árvore cresceu de forma mais lenta. É possível comprovar esse fato por meio da Figura 3 (B e C), onde os anéis são mais estreitos. A posição de 10% do raio também apresentou um número alto de anéis (11), o que indica crescimento lento, e pode ser atribuído à competição por espaço dentro da floresta ou por fatores climáticos. De acordo com Lorenzi (1992), a imbuia é característica das matas de pinhais (associada à Araucária) do planalto meridional e de submatas mais desenvolvidas. De acordo com o mesmo autor, a espécie pode apresentar comportamento de pioneira, infiltrando-se em matas mais abertas e capoeirões. Enquanto Schweingruber, Börner e Schulze (2006) mencionam que o incremento do lenho diminui com o aumento da idade da árvore, o que explica a variação de largura das camadas de crescimento da medula em direção à casca, ou seja, quanto mais velha for a árvore, menores são as larguras das camadas de crescimento próximo à casca.

Na Tabela 2, podem ser observadas as dimensões médias das fibras da madeira de imbuia, bem como os seus indicadores anatômicos. Já as Figuras 4 e 5 retratam as variações nas dimensões e nos indicadores ao longo do raio (medula-casca).

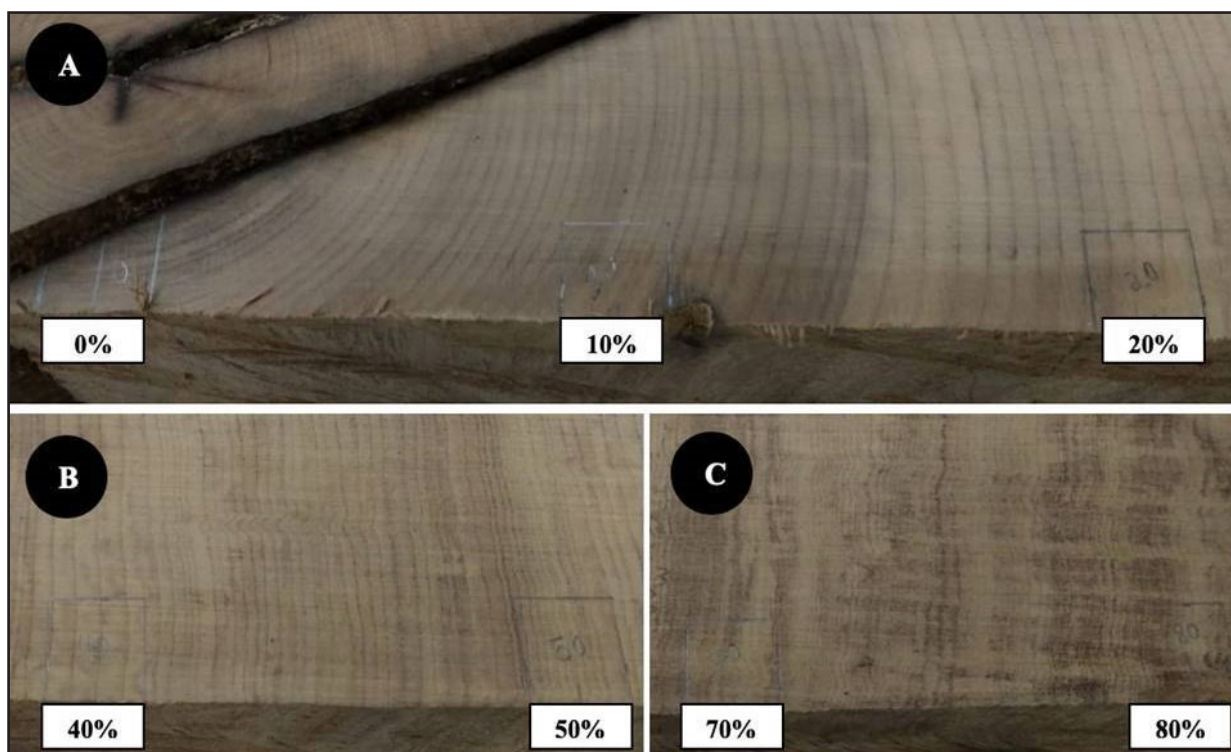
Tabela 2 – Médias das dimensões das fibras e dos indicadores anatômicos

	C (mm)	L (μm)	DL (μm)	EP (μm)	FP (%)	CF (%)	IR	IE
Média	0,93	23,93	14,81	4,56	38,55	61,45	0,65	38,98
s	0,03	1,18	0,95	0,52	3,26	3,26	0,09	1,60
CV (%)	3,67	4,91	6,38	11,51	8,46	5,31	14,04	4,09

Fonte: Autores (2021)

Em que: C – comprimento; L – largura; DL – diâmetro do lúmen; EP – espessura da parede celular; FP – fração parede; CF – coeficiente de flexibilidade; IR – índice de Runkel; IE – índice de enfeltramento; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Figura 3 – Posições amostradas: A – entre 0 e 20%; B – entre 40 e 50%; C – entre 70 e 80%



Fonte: Autores (2021)

O comprimento encontrado para as fibras da madeira da imbuia (média de 0,93 mm) permite classificá-las como de tamanho médio (entre 0,90 e 1,60 mm), de acordo com a classificação proposta por Metcalfe e Chalk (1983). Em relação à espessura da parede celular das fibras, conforme a classificação proposta por Manimekalai, Pavichandran e Balasubramanian (2002), estas podem ser classificadas como espessas (entre 3 e 5 μm). O conhecimento de tais parâmetros morfológicos e sua classificação podem auxiliar a definir as aptidões de uso da madeira, como por exemplo, fabricação de papel, painéis de madeira reconstituída, movelaria, construção civil, entre outros. Historicamente, a madeira de imbuia sempre se destacou, em função de sua qualidade, em usos mais nobres, como móveis de luxo, lâminas faqueadas decorativas, construção civil (vigas, caibros, portas, janelas, etc.) (MARCHESAN *et al.*, 2006).

As dimensões observadas no estudo são consoantes com os valores citados por Marchesan *et al.* (2006) para as fibras da madeira de imbuia, com 38 anos de idade: 0,99 mm de comprimento, 23,15 μm de largura e 5,06 μm de espessura de parede. Em comparação com a madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), Vivian *et al.* (2017) citam valores um pouco superiores de comprimento (1,01 mm), porém inferiores de largura (16,57 μm), diâmetro do lúmen (8,87 μm) e espessura de parede (3,85 μm), em relação à imbuia. A comparação com as características da madeira de eucalipto é importante, já que hoje este é o principal gênero plantado no Brasil, fornecendo matéria-prima para os mais diversos segmentos da cadeia produtiva florestal. Além disso, tanto a imbuia quanto o eucalipto pertencem ao grupo das folhosas, definido como "hardwood", "madeira dura" e "fibra curta", em função do segmento de uso da madeira.

Os indicadores anatômicos de fração parede, coeficiente de flexibilidade e os índices de Runkel e de enfieltramento fornecem informações acerca das potencialidades e possível comportamento das fibras da madeira para aplicação na produção de papel.

A fração parede obtida (38,55%) indica que as fibras apresentam rigidez média, estando entre 35 a 50%, com base na classificação sugerida por Klock (2013).

Shimoyama e Wiecheteck (1993) citam que o ideal é que a fração parede esteja abaixo de 40%, resultando em fibras que se colapsariam com maior facilidade na fabricação de papel, se utilizadas nesse segmento, por exemplo, proporcionando maior resistência à tração e ao estouro. O coeficiente de flexibilidade observado para as fibras da imbuia (61,45%) situa-se na faixa de 50 a 75%, indicando que as fibras apresentariam colapso parcial, com boa união e boa superfície de contato (NISGOSKI, 2005).

Em relação ao índice de Runkel obtido (0,65), conforme a classificação criada por Runkel, e citada por Tostes *et al.* (2013), o valor permite enquadrá-lo na categoria III (entre 0,50 e 1,00), que indica que as fibras são boas para fabricação de papel. Já para o índice de enfiamento, o valor obtido (38,98) é baixo, para o qual, segundo Nisgoski *et al.* (2012), sugere-se valores acima de 50, pois conferem boas características ao papel em relação ao rasgo e arrebatamento. Vivian *et al.* (2017) citam para a madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), a qual é amplamente utilizada no setor de celulose e papel, 46% de fração parede, 54% de coeficiente de flexibilidade, 0,90 de índice de Runkel e 62,39 de índice de enfiamento. Comparando com os valores obtidos para a madeira de imbuia, esta apresenta alto potencial, com parâmetros de fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel até melhores que o eucalipto, sendo pior apenas para o índice de enfiamento.

Na Tabela 3, observam-se os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no estudo. As correlações significativas estão em negrito (nível de significância de 0,602), podendo ser positivas (proporcionais) ou negativas (inversamente proporcionais). A idade apresentou alta correlação positiva com a posição de amostragem no sentido medula-casca (0,970), bem como com o número de anéis (0,701). O comprimento das fibras não mostrou correlação significativa com nenhum outro parâmetro. A largura apresentou correlação significativa positiva com a espessura da parede celular (0,644) e negativa com o índice de enfiamento (-0,690). Nesse caso, quando a largura da fibra aumenta, a espessura da parede também aumenta, mas o índice de enfiamento diminui (inversamente proporcional). O

diâmetro do lúmen apresentou correlação significativa com a fração parede (-0,662), coeficiente de flexibilidade (0,662) e índice de Runkel (-0,611), o que indica que quando o diâmetro do lúmen aumenta ocorre uma redução na fração parede, resultando em maior flexibilidade da fibra, reduzindo o índice de Runkel. É importante frisar que quanto menor o valor desse índice, melhor sua aptidão para produção de papel, ou seja, melhor qualidade.

A espessura da parede celular apresentou correlações significativas elevadas com a fração parede (0,915), coeficiente de flexibilidade (-0,915) e índice de Runkel (0,928). Isso indica que o aumento da espessura da parede, além de elevar sua proporção na fibra (maior fração de parede), reduz a sua flexibilidade, aumentando o valor do índice de Runkel que quanto maior o valor do índice, menor a qualidade da madeira para fabricação de papel. A espessura da parede também apresentou correlação negativa com o número de anéis, indicando que quanto maior o número destes, menor será a espessura da parede, o que faz sentido pelo indicativo de crescimento mais acelerado.

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas em árvore de *Ocotea porosa* multissecular

Parâmetros	Idade	C	L	DL	EP	FP	CF	IR	IE	M-C	Nº Anéis
Idade	1,000										
C	0,122	1,000									
L	-0,354	0,571	1,000								
DL	0,188	0,338	0,528	1,000							
EP	-0,566	0,335	0,644	-0,309	1,000						
FP	-0,518	0,112	0,284	-0,662	0,915	1,000					
CF	0,518	-0,112	-0,284	0,662	-0,915	-1,000	1,000				
IR	-0,494	0,131	0,337	-0,611	0,928	0,991	-0,991	1,000			
IE	0,555	0,199	-0,690	-0,334	-0,472	-0,238	0,238	-0,283	1,000		
M-C	0,970	0,200	-0,178	0,309	-0,478	-0,501	0,501	-0,456	0,414	1,000	
Nº Anéis	0,701	-0,138	-0,193	0,499	-0,665	-0,748	0,748	-0,747	0,123	0,718	1,000

Fonte: Autores (2021)

Em que: C – comprimento; L – largura; DL – diâmetro do lúmen; EP – espessura da parede celular; FP – fração parede; CF – coeficiente de flexibilidade; IR – índice de Runkel; IE – índice de enfeltramento; M-C – posição medula-casca; Nº Anéis – número de anéis de crescimento por posição amostrada. *Nível de significância de 0,602* ($P < 0,05$, $n = 10$); *Números em negrito indicam correlações significativas.

A fração parede, como já mencionado, tem correlação positiva com a espessura da parede (0,915), e negativa com o diâmetro do lúmen (-0,662). Além disso, apresentou correlação negativa perfeita com o coeficiente de flexibilidade (-1,000), o que já era esperado, pois para o cálculo da fração parede utiliza-se a proporção de parede em relação à largura, enquanto o coeficiente de flexibilidade utiliza a proporção de diâmetro de lúmen em relação à largura.

O coeficiente de flexibilidade se correlaciona positivamente com o diâmetro do lúmen (0,662) e com o número de anéis (0,748), e negativamente com a espessura da parede celular (-0,915) e índice de Runkel (-0,991), o que indica que as fibras serão mais flexíveis com o aumento do diâmetro do lúmen e com o aumento do número de anéis, porém tenderá a ser mais rígida com o aumento da espessura da parede. Como já mencionado, quanto menor o índice de Runkel, maior a aptidão da madeira para fabricação de papel. Por isso, é interessante que a relação do coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel sejam inversamente proporcionais, assim, com aumento da flexibilidade, reduz o valor índice, indicando melhor qualidade. Tal índice se correlaciona fortemente com a espessura da parede, fração parede e coeficiente de flexibilidade, como já abordado anteriormente.

Por fim, o número de anéis de crescimento por posição apresentou correlação significativa com a idade e as posições de amostragem medula-casca, bem como com a espessura da parede, fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel.

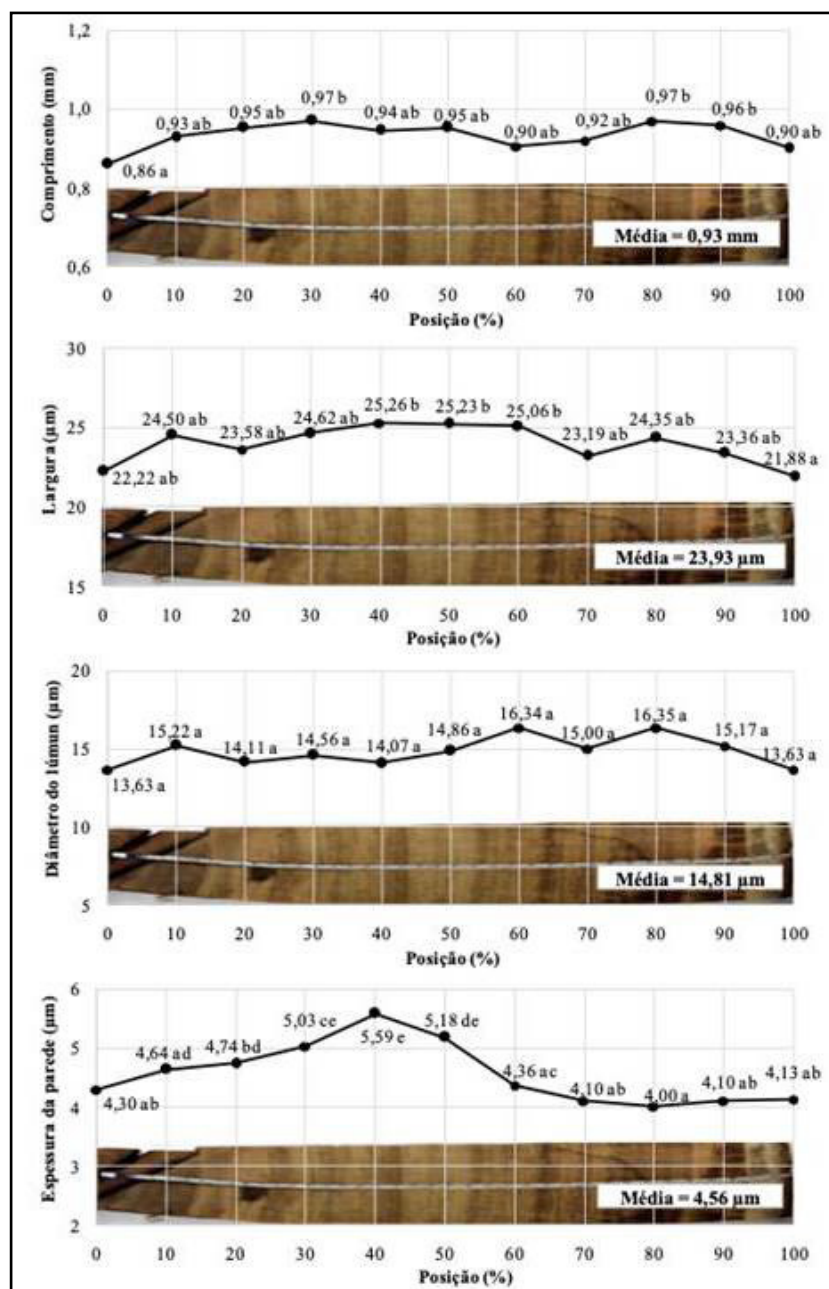
A partir da Figura 4 é possível observar a variação das dimensões das fibras ao longo do raio, sendo a posição 0% próxima à medula, quando a árvore apresentava em torno de 1 ano (ano 1484), até a posição 100%, quando a árvore apresentava em torno de 533 anos (ano 2017).

Todas as dimensões apresentaram variação significativa na direção radial medula-casca, com exceção do diâmetro do lúmen. O comprimento foi menor próximo à medula (posição 0% = 0,86 mm), tendendo a aumentar no sentido radial, porém sem diferir da posição 100% (0,90 mm). As posições que apresentaram os maiores valores de comprimento foram a 30% (0,97 mm) e 80% (0,97 mm), quando a árvore apresentava, aproximadamente, 95 e 354 anos, respectivamente.

A largura das fibras variou de forma significativa, entre 21,88 μm (100%) e 25,26 μm (40%), no sentido radial, oscilando entre as posições amostradas. O diâmetro do lúmen, mesmo sem apresentar diferença significativa, variou entre 13,63 e 16,34 μm .

A espessura da parede celular variou de forma significativa, entre 4,00 μm (80%) e 5,59 μm (40%). Um detalhe importante e que pode auxiliar na interpretação das variações, especialmente na espessura da parede, é que, após a amostragem, maceração e obtenção das imagens das fibras, podem ser mensuradas fibras de lenho inicial ou tardio, pois estarão misturadas no macerado. Assim, podem ocorrer variações entre posições que se devem a esse detalhe.

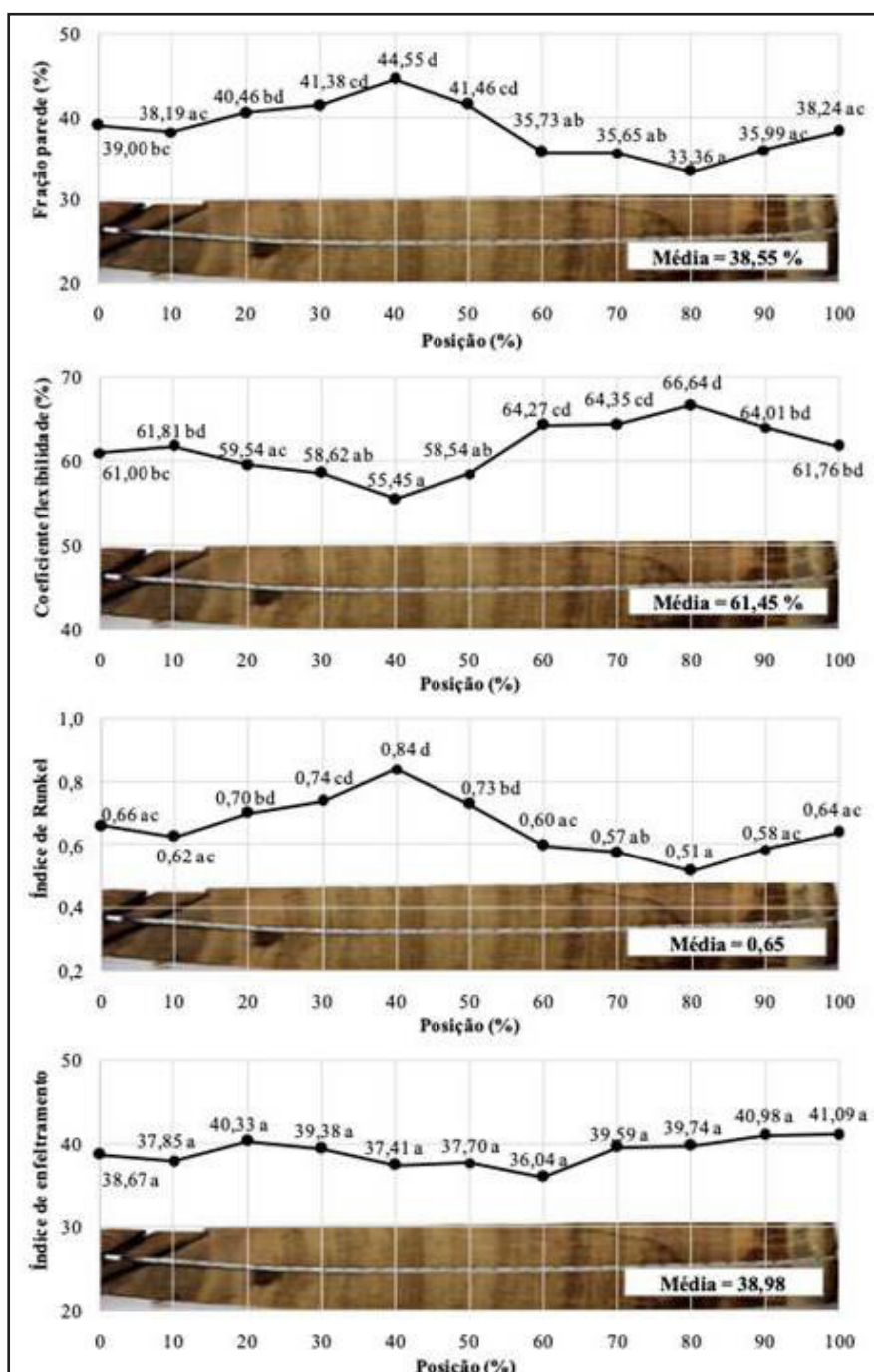
Figura 4 – Variação das dimensões das fibras no sentido radial



Fonte: Autores (2021)

Na Figura 5, pode ser observada a variação dos indicadores anatômicos das fibras ao longo do raio, sendo a posição 0% próxima à medula, quando a árvore apresentava em torno de 1 ano (ano 1484), até a posição 100%, quando a árvore apresentava em torno de 533 anos (ano 2017). Todos os índices apresentaram variação significativa no sentido radial, com exceção do índice de enfieltramento.

Figura 5 – Indicadores anatômicos das fibras no sentido radial



Fonte: Autores (2021)

A fração parede e o coeficiente de flexibilidade expressam exatamente o oposto, enquanto a primeira indica quanto da largura da fibra é representada pela espessura da parede, o segundo indica quanto da largura é representada pelo diâmetro do lúmen. Assim, quando a fração parede aumenta, o coeficiente de flexibilidade diminui, e vice-versa. Observa-se que a fração parede variou de 33,36% na posição 80% a 44,55% na posição 40% do raio, enquanto o coeficiente de flexibilidade variou entre 55,45% (40%) e 66,64% (80%). Tais indicadores se relacionam diretamente com a espessura da parede celular, como pode ser observada na Figura 4, que é maior na posição 40% (5,59 μm) e menor na posição 80% (4,00 μm) do raio. Além disso, quanto mais elevada à fração parede, maior será a densidade da madeira, em função de sua espessura e participação no elemento.

O índice de Runkel variou de forma significativa no sentido radial (0,51=80% a 0,84=40%), apresentando comportamento similar à fração parede e inverso ao coeficiente de flexibilidade. O índice de Runkel é dividido em cinco grupos, que indicam a aptidão das fibras para produção de papel, sendo: I (< 0,25) excelentes para produção de papel; II (0,25 - 0,50) muito boas para produção de papel; III (0,50 - 1,00) boas para produção de papel; IV (1,00 - 2,00) regulares para produção de papel; V (> 2,00) ruins para fabricação de papel. Assim, percebe-se que fibras com paredes muito espessas e pouco flexíveis serão ruins para essa finalidade. Dessa forma, buscam-se valores menores para o índice de Runkel, que é obtido em fibras com fração parede menor, e que sejam mais flexíveis (maior coeficiente de flexibilidade), facilitando o colapso e interligação das fibras durante a formação das folhas de papel, aumentando a resistência mecânica. O índice de enfiamento, mesmo que não tenha apresentado diferença significativa no sentido radial, apresentou uma amplitude entre 36,04 (60%) e 41,09 (100%). Para esse índice, sempre se buscam valores mais elevados, que implicarão em fibras com maior entrelaçamento e união durante a fabricação de papel.

4 CONCLUSÕES

A árvore apresentava 533 anos de idade (1484-2017).

O ritmo de crescimento da árvore oscilou ao longo de sua vida, como se percebe no número de anéis de crescimento por porção radial amostrada.

As dimensões das fibras (comprimento, largura e espessura da parede celular) variaram de forma significativa no sentido radial (medula-casca), com exceção do diâmetro do lúmen.

Os indicadores anatômicos (fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel) variaram de forma significativa no sentido radial (medula-casca), com exceção do índice de enfiamento.

A madeira avaliada apresentava idade avançada, praticamente indisponível atualmente, mas, com base na avaliação realizada, é possível destacar que se pode produzir madeira de qualidade com idades inferiores. Analisando a variação radial da morfologia das fibras, observa-se que a 30% do raio, equivalente a 95 anos, tem-se o máximo de comprimento de fibra, por exemplo. Além disso, a imbuia não conta com nenhum programa de melhoramento florestal, ou seja, apresenta margem para incremento de suas propriedades, bem como de redução de seu ciclo de corte.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014: Lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 245, p. 110-121, 18 dez. 2014. Disponível em: http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/static/pdf/portaria_mma_443_2014.pdf. Acesso em: 23 mar. 2020.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos, 2002. 28 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição anatômica de espécies de madeira utilizadas na construção civil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 227-236, 2011.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 43, p. 69-78, 1983.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

KLOCK, U. **Polpa e Papel – Propriedades do papel**. Curitiba: UFPR, 2013. 53 p. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/papelpropriedades2013.pdf>. Acesso em: 13 maio 2020.

LARSSON, L. **Cybis CooRecord**. Saltsjöbaden: Cybis Elektronik & Data AB, 2014a. Disponível em: www.cybis.se. Acesso em: 15 jun. 2020.

LARSSON, L. **Cybis dendro dating program**. Saltsjöbaden: Cybis Elektronik & Data AB, 2014b. Disponível em: www.cybis.se. Acesso em: 15 jun. 2020.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 19925. v. 1. 352 p.

MAGENTA, Matheus. **Árvore gigante rara de 535 anos foi derrubada em Santa Catarina para virar cerca**. Londres: BBC Brasil News, 29 nov. 2019.

MANIMEKALAI, V.; PAVICHANDRAN, P.; BALASUBRAMANIAN, A. Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and their potential use in paper and board making. **Phitomorphology**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 55-59, 2002.

MARCHESAN, R. *et al.* **Caracterização física, química e anatômica da Madeira de *Ocotea porosa* (Nees & C. Mart.) Barroso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 3 p. (Comunicado Técnico, 161).

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons - Wood structure and conclusion of the general introduction**. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1983. v. 2. 308 p.

METZGER, J. P. *et al.* Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, n. 6, p. 1166-1177, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.033>.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NISGOSKI, S. *et al.* Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

REIS-AVILA, G.; OLIVEIRA, J. M. Lauraceae: a promising family for the advance of neotropical dendrochronology. **Dendrochronologia**, [s. l.], v. 44, p. 103-116, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2017.04.002>.

ROQUETTE, J. G.; LOBO, F. A.; CURADO, L. F. A. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 451-462, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831995>.

SARTO, C. **Avaliação do processo SuperBatchTM para produção de polpa celulósica a partir de *Bambusa vulgaris***. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SCHWEINGRUBER, F. H.; BÖRNER, A.; SCHULZE, E.-D. **Atlas of woody plant stems: evolution, structure and environmental modifications**. Berlin: Springer, 2006. 229 p.

SCIPIONI, M. C. Troncos de árvores monumentais como indicadores de degradação florestal no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 1712-1725, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509835588>.

SCIPIONI, M. C. *et al.* Decline in Giant Tree Numbers: status report for Santa Catarina State and perspectives for Brazil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 4, e20190039, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.003919>.

SCHÖNGART, J. *et al.* Dendroecological studies in the neotropics: history, status and future challenges. *In*: AMOROSO, M. M. *et al.* (org.). **Dendroecology: tree-ring analyses applied to ecological studies**. Heidelberg: Springer, 2017. p. 35-73.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

TOSTES, L. C. L. *et al.* Morfometria das fibras do sistema radicular de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Família Araceae; subgênero Meconostigma). **Biota Amazônia**, Macapá, v. 3, n. 3, p. 15-22, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v3n3p15-22>.

VARTY, N.; GUADAGNIN, D. L. *Ocotea porosa*. *In*: INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Gland, 1998. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32978A9739985.en>. Acesso em: 14 jun. 2020.

VIVIAN, M. A. *et al.* Evaluation of yield and lignin extraction from *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* wood chips with the hydrotropic compound sodium xylenesulphonate (SXS). **BioResources**, Raleigh, v. 12, n. 3, p. 6723-6735, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.12.3.6723-6735>.

Contribuição de Autoria

1 – Magnos Alan Vivian

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7793-8425> • magnos.alan@ufsc.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Visualização de dados, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Marcelo Callegari Scipioni

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-0923-5661> • marcelo.scipioni@ufsc.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Validação, Escrita – revisão e edição

3 – Thaisa do Nascimento

Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-3975-3352> • thaisanascimento21@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia

4 – Olávio Rosa Neto

Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-1277-257X> • olaviorosa@outlook.com

Contribuição: Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia

Como citar este artigo

Vivian, M. A.; Scipioni, M. C.; Nascimento, T.; Rosa Neto, O. Imbuia multissecular: caracterização morfológica das fibras da madeira de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso no sentido radial. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 2002-2022, 2021. DOI 10.5902/1980509847439. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509847439>.