

Rafael Cavali Schlichting

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS DA
MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* NO SENTIDO MEDULA-CASCA**

Curitibanos

2017



Rafael Cavali Schlichting

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS DA
MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* NO SENTIDO MEDULA-CASCA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian.

Curitibanos

2017

Schlichting, Rafael Cavali

Caracterização morfológica dos traqueídeos da madeira de *Cryptomeria japonica* no sentido radial medula-casca

/ Rafael Cavali Schlichting; orientador, Magnos Alan Vivian, 2017.

28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Características morfológica dos traqueídeos. I. Alan Vivian, Magnos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Rafael Cavali Schlichting

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS DA
MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* NO SENTIDO MEDULA-CASCA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de
"Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovado em sua forma final pela Comissão
Examinadora

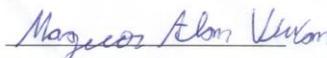
Curitiba, 05 de dezembro de 2017.



Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.

Coordenador do Curso

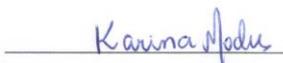
Banca Examinadora:



Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Karina Soares Modes, Dr.^a

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Mario Dobner Junior, Dr.

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

À UFSC, pela oportunidade de aprendizado, conhecimento, crescimento pessoal e profissional.

À minha família, pelo apoio, carinho, confiança e incentivo durante a graduação.

Ao meu orientador, Magnos Alan Vivian, pela orientação e ensinamentos transmitidos durante a elaboração do trabalho.

Aos meus amigos, professores e colegas de graduação, pela ajuda na elaboração do trabalho, amizade e companheirismo durante todo o período de graduação.

À empresa Florestal Gateados Ltda., por apoiar e disponibilizar o material utilizado no estudo.

Ao servidor André Lucio Fontana Goetten pelo auxílio na utilização do microscópio e lupa para aquisição das imagens morfológicas dos traqueídeos.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar as características morfológicas dos traqueídeos da madeira de *Cryptomeria japonica* no sentido radial medula-casca, bem como relacionar as dimensões anatômicas e parâmetros que indiquem a qualidade da polpa celulósica, e comparar os resultados com as espécies de coníferas mais utilizadas na produção de polpa celulósica de fibra longa no Brasil. Para a realização do estudo foram utilizadas três árvores, com 13 anos de idade, provenientes de um plantio experimental localizado no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina. De cada árvore foram retirados discos da base, de aproximadamente 3,0 cm de espessura, que foram empregados na caracterização morfológica da madeira. Destes discos confeccionaram-se baguetas centrais nas quais foram demarcadas as porções 0, 25, 50, 75 e 100% no sentido radial medula-casca; os quais foram transformados em pequenos fragmentos (palitos) para a realização do processo de maceração e montagem de lâminas a fim de se obter informações de comprimento (mm), largura (μm) e diâmetro de lúmen (μm) dos traqueídeos. Após a obtenção das informações das dimensões calculou-se a espessura de parede (μm), bem como os indicadores de qualidade da polpa: fração parede (%), coeficiente de flexibilidade (%), índice de Runkel e índice de enfeltramento. Os resultados obtidos na caracterização morfológica dos traqueídeos indicaram comprimento médio de 1,52 mm, largura de 27,54 μm , diâmetro do lúmen de 21,73 μm e espessura de parede de 2,90 μm , os quais foram inferiores quando comparados com as espécies de coníferas mais utilizadas para polpação no Brasil. O comportamento dos traqueídeos em relação ao sentido radial medula-casca mostrou que com o passar dos anos ocorreu um aumento nas dimensões dos traqueídeos no sentido medula-casca. Apesar das dimensões dos traqueídeos serem menores que o registrado para a madeira das espécies *P. taeda* e *P. elliotii*, os índices de qualidade de polpa celulósica para *Cryptomeria japonica* foram superiores em quase todos os parâmetros quando comparados com as mesmas espécies, mostrando que a madeira é uma boa alternativa para a produção de papel. De forma geral, a madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta boas características para a produção de papel e celulose.

Palavras-chave: Madeira de fibra longa; celulose e papel; anatomia da madeira; indicadores de qualidade.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphological characteristics of tracheids of *Cryptomeria japonica* wood in the radial direction of the bark marrow, as well as relate the anatomical dimensions and parameters that indicate the cellulosic pulp quality, and to compare the results with the most coniferous species used in the production of long fiber cellulosic pulp in Brazil. For the study, three 13 years old trees, from an experimental planting located in the city of Campo Belo do Sul, Santa Catarina were used. From each tree, transverse cuts were made at the base of approximately 3.0 cm thick, which were used in the morphological characterization of the wood. Central cut were made from the disks, then the 0, 25, 50, 75 and 100% portions were marked in the radial direction of the spindle; (mm), width (μm) and lumen diameter (μm) of the tracheids were used to perform the maceration and slide assembly process. After obtaining the information of the dimensions, the wall thickness (μm), as well as the pulp quality indicators were calculated: wall fraction (%), flexibility coefficient (%), Runkel index and inflow index. The results obtained for the morphological characterization of tracheid dimensions were 1.52 mm for length; 27.54 μm for width; 21.73 μm for lumen diameter and 2.90 μm for wall thickness, which were lower when compared to most of the species of conifers used for pulping in Brazil. The behavior of the radial direction of the bark marrow showed that over the years there was an increase in the dimensions of the tracheids, occurring in most of the parameters significant difference between the values found for each portion in the radial direction of the bark marrow. Although tracheid dimensions were lower than those recorded for *P. taeda* and *P. elliottii* wood. The cellulose pulp quality indexes for *Cryptomeria japonica* were higher in almost all the parameters when compared to the same species, showing that wood is a good alternative for paper production. In general, *Cryptomeria japonica* wood presents good characteristics for the production of paper and cellulose.

Keywords: Long-fiber wood; cellulose and paper; morphological characterization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE <i>C. japonica</i>	11
2.2	MORFOLOGIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS	12
2.3	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	COLETA E PREPARO DO MATERIAL	15
3.2	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS	16
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE <i>C. japonica</i>	19
4.2	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA	22
5	CONCLUSÕES	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Cordeiro et al. (2010) a crescente restrição por uso de madeiras nativas tem aumentado a procura internacional por madeiras de reflorestamento, bem como os produtos gerados, que são, madeira serrada, papel e celulose, painéis e até mesmo produtos de maior valor agregado como móveis e outros componentes.

As coníferas estão presentes em escala comercial há mais de 30 anos no Brasil. Inicialmente, os plantios mais extensos foram estabelecidos no Sul e Sudeste. Com a crescente expansão, diversas espécies foram introduzidas, principalmente nas regiões tropicais, tornando possível a expansão da produção da madeira do principal gênero, *Pinus*, para outros territórios brasileiros (CORDEIRO et al., 2010).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2017) o Brasil está entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira do mundo, com exportações que trazem inegável contribuição para a balança comercial e gerando emprego e renda em todas as regiões do país.

A área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015. O setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial do país e, também, é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (IBÁ, 2017).

Segundo o Relatório do IBÁ (2017), os plantios de espécies do gênero *Eucalyptus* spp. ocupam 5,7 milhões de hectares e estão localizados principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Já os plantios de *Pinus*, que é o principal gênero de conífera utilizado no país, ocupam uma área de 1,6 milhão de hectares, os quais concentram-se basicamente na região Sul, mais especificamente no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%), fazendo com que a região tenha um grande potencial para o estabelecimento de novas espécies de coníferas, como a *C. japonica*.

Segundo Carpanezzi et al. (1988) *C. japonica* é plantada comercialmente a décadas no Brasil, porém, em pequena escala, em regiões de São Paulo e Minas Gerais com altitude superior a 1.000 m. Seu crescimento é bastante influenciado por fatores edáficos e com relação a qualidade de sítio, mesmo assim, em nosso país, há registro de incremento de até 43 m³/ha/ano (DONBER JR et al., 2013). Sua madeira apresenta densidade 0,40 g/cm³, é de alta qualidade, apresentando fuste reto, crescimento rápido, facilidade no processamento e cor

agradável, podendo ser usada para diversos fins. De maneira geral, é uma espécie de grande potencial para plantios nas regiões altas e frias do Brasil, destacando-se pelo seu rápido crescimento, boa adaptação ao clima e solo do sul do país (CARPANEZZI et al., 1988).

Apesar de apresentar boas características, as pesquisas sobre as características da sua madeira ainda são escassas, sendo necessário realizar novos estudos com intuito de identificar o uso mais adequado desta promissora espécie florestal.

Através do incremento de madeira no sentido medula-casca, ocorre a transição de madeira juvenil para madeira adulta, resultando no aumento dos traqueídeos, tanto em comprimento, quanto em espessura de parede. Com o aumento dos traqueídeos neste sentido, a madeira tende a apresentar uma melhor qualidade. Deste modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar as características morfológicas dos traqueídeos da madeira de *C. japonica* no sentido radial medula-casca, bem como estimar os indicadores de qualidade para produção de polpa celulósica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *C. japonica*

A espécie *C. japonica* é uma conífera pertencente à família botânica Cupressaceae, conhecida popularmente como pinheiro-japonês ou sugi, é originária da região temperada do Japão, onde ocorre entre 600 e 1.800 m de altitude, em clima caracterizado por invernos frios, com ocorrência de neve, e verões moderadamente quentes. É a espécie mais utilizada em plantios florestais no Japão, com crescimento ótimo em locais com temperatura média anual entre 12° e 14°C e com pluviosidade média anual de 3.000 mm (CARPANEZZI et al., 1988).

Gérard et al. (2008 apud PINTO, 2011) descrevem a madeira de *C. japonica* com cerne marrom avermelhado, albarno claramente demarcado de coloração amarelo claro. A madeira apresenta textura fina, grã reta, com presença de nós. Apresenta boa laminação sendo recomendada para painéis de uso interno.

No Brasil, a árvore é utilizada para fins ornamentais, paisagísticos e como cerca viva. Em sua fase juvenil é comercializada como árvore de Natal. Sua característica de planta medicinal também é apontada na literatura, assim como o seu cultivo para extração de óleos essenciais para o uso na indústria farmacêutica (CAPALDI, 2002).

Carneiro et al. (2009) pesquisando sobre as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira de *C. japonica* em plantios no Planalto Catarinense de 14 anos, constataram que os traqueídeos apresentavam comprimento e diâmetro de lúmen ligeiramente inferiores aos observados em outros estudos com a mesma espécie. A madeira apresentou, de maneira geral, maior anisotropia de contração que madeiras do gênero *Pinus* com idade próxima, e menores propriedades mecânicas que outros estudos da mesma espécie. Os mesmos autores citam que os valores encontrados indicam que a madeira não é a mais adequada para fins estruturais, ou mesmo em usos que requeiram dureza superficial, como pisos. Ao final os autores ressaltam que mesmo a madeira juvenil da espécie apresenta características anatômicas promissoras.

2.2 MORFOLOGIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS

A madeira das coníferas quando comparada a madeira das folhosas são consideradas mais primitivas, apresentando uma constituição anatômica mais simples, contendo um menor número de caracteres anatômicos, dificultando a distinção das espécies. A composição do lenho chega a ser 90% do volume total formado por traqueídeos axiais, o restante é formado por raios, parênquima axial e canais resiníferos (BURGER; RICHTER, 1991).

De acordo com Chimelo (1986 apud FERREIRA, 2009) as coníferas podem ser denominadas como não porosas (ausência de vasos) ou “softwoods”, por apresentarem uma menor densidade, dureza e resistência quando comparadas a madeira das folhosas.

Os anéis de crescimento das coníferas representam habitualmente o incremento anual da árvore. Cada ano que passa um novo anel é formado ao longo do tronco, por essa razão são denominados como anéis anuais de crescimento. A contagem destes anéis possibilita conhecer a idade do indivíduo. Um anel de crescimento pode ser separado em duas partes, lenho inicial e lenho tardio. O lenho inicial corresponde ao período vegetativo, que normalmente é na época da primavera/verão, onde a planta reassume suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células formadas neste período apresentam paredes finas e lúmens grandes, conferindo uma coloração clara. Com a aproximação do outono/inverno, a planta reduz a sua atividade fisiológica dando início a formação do lenho tardio, que é caracterizado por células de paredes mais espessas e lúmen menor (BURGER; RITCHER, 1991).

Através de um corte transversal em um fuste de conífera, é possível identificar duas regiões distintas, uma região de madeira juvenil e a outra de madeira adulta. Não existe um ponto específico de transição entre as duas regiões, devido ao fato de esta transição ocorrer ao longo de vários anos e de forma lenta. A região de madeira juvenil é identificável pela presença de anéis de crescimento mais largos. Já na região de madeira adulta os anéis são mais estreitos e com largura relativamente mais uniforme (BENJAMIN, 2002 apud BALLONI, 2009).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980 apud BALLONI, 2009) a localização da madeira juvenil no fuste é discutida por muitos pesquisadores, alguns estimam que esteja compreendido em uma faixa entre a medula até o vigésimo anel anual de crescimento. Porém a transição entre o lenho juvenil e adulto varia entre espécies, podendo ser entre 12 a 15 anos para algumas, ou mais ou menos. Tal distinção pode ser estimada micro ou macroscopicamente, de acordo com a espécie.

Com relação ao comprimento dos traqueídeos, normalmente em coníferas o tamanho médio está em torno de 3 a 4 mm. O comprimento, de forma grosseira, é cerca de 100 vezes sua largura. Porém, vale ressaltar que os traqueídeos variam em comprimento nas diferentes partes do lenho da mesma árvore (AJOSTROM, 1993 apud BALLONI, 2009).

Plumptre (1984 apud FERREIRA, 2009) avaliando árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, constatou que a densidade da madeira aumentava gradativamente no sentido medula-casca. Nesse estudo, a madeira juvenil apresentava anéis de crescimento largos, com o lenho inicial em maior proporção em relação ao lenho tardio, além disso, os traqueídeos que formavam o lenho juvenil eram menores, caracterizando uma madeira de menor qualidade. Com a transição do lenho de madeira juvenil para madeira adulta, pode-se observar maior densidade, melhor qualidade da madeira, traqueídeos mais longos e a porcentagem de lenho inicial e tardio similares. Com relação à densidade da madeira, o lenho juvenil apresentava densidade até 2/3 menor do que a madeira adulta, e metade de sua resistência.

Boone e Chudnoff (1972 apud FLORSHEIM, 2010) afirmam que os traqueídeos de madeira juvenil são cerca de 50% menores para espécies tropicais de *Pinus* spp. Para *P. taeda* o comprimento médio dos traqueídeos é cerca de 30% menor em madeira juvenil, e a espessura de parede é cerca 50% menor (ZOBEL E BLAIR, 1976 apud FLORSHEIM, 2010).

2.3 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA

A partir dos resultados obtidos das dimensões dos traqueídeos é possível verificar o comportamento e sua capacidade papeleira, através de parâmetros indicadores, entre os quais estão: Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade e Fração Parede. Esses índices auxiliam na análise do potencial do traqueídeo, influenciando direta e indiretamente as características gerais da polpa celulósica, como, resistência a rasgo, densidade, volume, resistência à passagem de água e ar e resistência a tração (NIGOSKI et al., 2012).

O Índice de Runkel expressa a relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lúmen, auxiliando na avaliação da aptidão do traqueídeo para produzir papel (SANTOS, 2005).

O Índice de Enfeltramento é a relação entre o comprimento e a largura do traqueídeo. Alguns autores afirmam que este índice não exerce influência nas propriedades do papel,

porém, outros autores afirmam que a resistência ao rasgo está relacionada com o aumento desse índice (DIAS; SIMONELLI, 2013).

O Coeficiente de Flexibilidade é a relação entre o diâmetro de lúmen e largura do traqueídeo, influenciando diretamente na resistência à tração e estouro do papel (NIGOSKI et al., 2012).

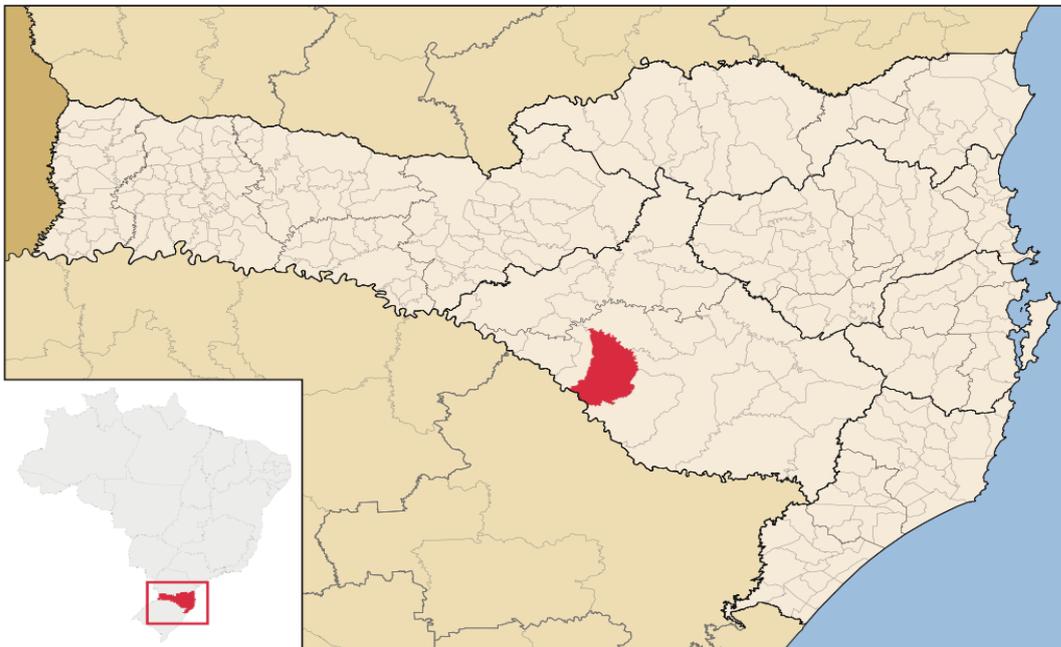
A Fração Parede é a relação entre a espessura de parede e largura do traqueídeo, e assim como o Índice de Runkel, está relacionada diretamente com os atributos do papel, pois exerce efeito nas propriedades mecânicas do mesmo (RODRIGUES, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para a realização do presente estudo utilizou-se a madeira de *C. japonica* com 13 anos de idade, proveniente de um plantio experimental pertencente a Empresa Florestal Gateados LTDA, localizado no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina (Latitude 27°57'06''S e Longitude 50°49'08''O e 930 m de altitude) (Figura 1). O plantio era de 2° rotação, sendo a 1° com *Pinus*, espaçamento de 2,5 x 2,5 e nenhum desbaste.

Figura 1 - Localização do Município de Campo Belo do Sul, SC



Fonte: Wikipédia (2017)

Foram utilizadas três árvores, das quais retiraram-se discos da base, com aproximadamente 3,0 cm de espessura, que foram transportados para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, onde procedeu-se a caracterização morfológica da madeira.

Os parâmetros dendrométricos médios das árvores coletadas foram: 18,6 cm de diâmetro (DAP), 13,8 metros de altura total, e 9,6 metros de altura comercial até o diâmetro mínimo de 8,0 cm.

3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS

Para determinação das dimensões dos traqueídeos foram confeccionadas baguetas de 2,0 cm da distância radial, no sentido medula-casca de maior diâmetro, da qual foram demarcadas as porções 0, 25, 50, 75 e 100%, que correspondiam, conforme análise dos anéis de crescimento, ao ano 1, 3, 7, 10 e 13, respectivamente. Cada uma das porções foi convertida em fragmentos (palitos) visando a maceração (Figura 2).

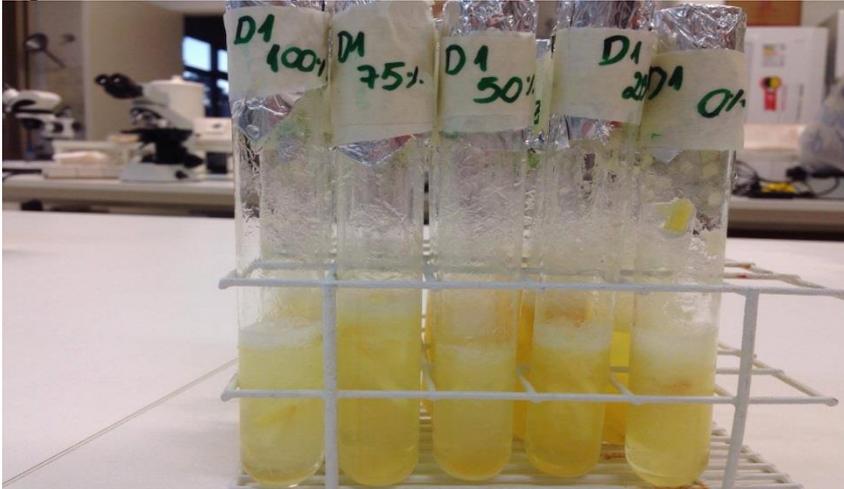
Figura 2 - Etapas de preparação do material para maceração. (A) Discos demarcados; (B) Baguetas no sentido medula-casca; (C) Fragmentos.



Fonte: O autor.

Os fragmentos (palitos) foram depositados em tubos de ensaio devidamente identificados, contendo reagentes químicos para a realização da separação/individualização dos traqueídeos, dos demais componentes celulares. O processo de maceração utilizado continha Ácido Acético + Ácido Nítrico (SARTO, 2012). Foram colocados de 2 a 3 fragmentos (palitos) de madeira em um tubo de ensaio juntamente com a solução de maceração na proporção 5:2:1 (ácido acético, ácido nítrico, água). Posteriormente, o tubo de ensaio, já com a solução e os fragmentos, foi colocado em banho-maria, a 100°C, por um período de aproximadamente 1 h, até a individualização dos elementos celulares (traqueídeos). Após a individualização dos traqueídeos, os mesmos foram lavados e mantidos no tubo de ensaio com água destilada até a preparação das lâminas (Figura 3).

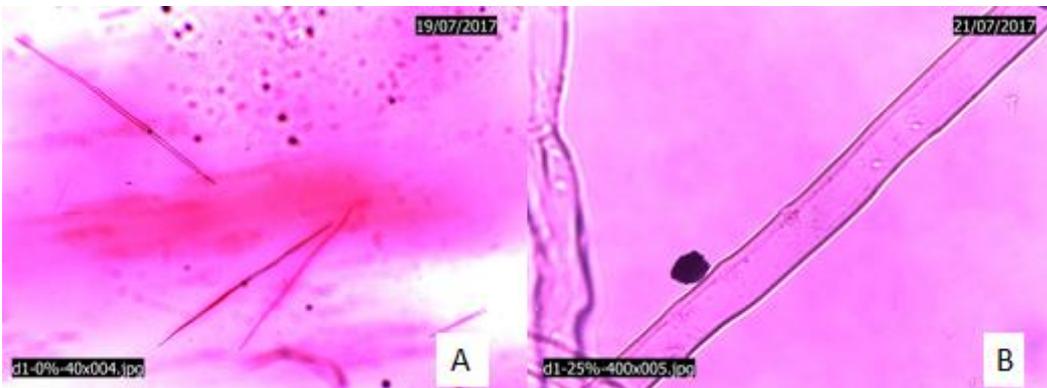
Figura 3 - Amostras em processo de maceração.



Fonte: O autor.

O material já macerado dentro do tubo de ensaio foi agitado manualmente para que os traqueídeos ficassem em suspensão, evitando a aglomeração dos mesmos. Posteriormente os traqueídeos em suspensão foram depositados em lâminas, com a adição de uma gota de safranina, uma de glicerina e uma de água para melhor visualização dos elementos celulares, seguido da colocação de lamínula para evitar bolhas. Após a preparação das lâminas, foram obtidas imagens dos traqueídeos, com o auxílio do microscópio marca Leica, modelo DM500 em um aumento de 40x para o comprimento e 400x para largura e diâmetro do lúmen. As imagens foram obtidas com o auxílio de microscópio e software LAS EZ. Para a mensuração dos traqueídeos foi utilizado o software Image Pro Plus.

Figura 4 - Imagens dos traqueídeos em diferentes aumentos. (A) Aumento de 40x; (B) Aumento de 400x.



Fonte: O autor.

As medidas realizadas nos traqueídeos foram: comprimento, largura e diâmetro de lúmen, baseando-se nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). As médias de cada parâmetro por posição radial foram obtidas através da mensuração de 30. Após a obtenção destas medidas foram calculados: espessura de parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel, através das equações 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

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

$$FP = \left(\frac{2 \cdot E}{L} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

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

$$IR = \left(\frac{2 \cdot E}{DL} \right) \quad (6)$$

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, %; IE – índice de enfiamento; IR – índice de Runkel.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas, utilizando-se o programa Excel® 2010. Aplicou-se a análise de variância (ANOVA), e quando significativo aplicou-se o teste t, ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software Sisvar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE *C. japonica*

Os valores referentes à morfologia dos traqueídeos da madeira de *Cryptomeria japonica* podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões médias dos traqueídeos da madeira de *Cryptomeria japonica* para cada posição no sentido radial medula-casca, juntamente com o desvio padrão e coeficiente de variação.

Posição (%)	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro do lúmen (μm)	Espessura da parede (μm)
0	0,98	20,44	15,48	2,48
25	1,22	25,28	19,89	2,70
50	1,59	28,66	23,24	2,71
75	1,90	31,92	25,78	3,07
100	1,92	31,38	24,25	3,56
Média	1,52	27,54	21,73	2,90
DP	0,42	4,76	4,11	0,43
CV%	27,39	17,28	18,90	14,64

DP = desvio padrão e CV = coeficiente de variação

É possível observar que de forma geral as dimensões dos traqueídeos da madeira de *C. japonica* tendem a aumentar no sentido radial medula-casca, supostamente devido a possibilidade da transição da madeira juvenil para adulta.

O valor médio encontrado para o comprimento dos traqueídeos (1,52 mm) foi inferior aos valores observados para a mesma espécie por outros autores. Carneiro et al. (2009) ao avaliarem 15 árvores de *C. japonica* com 14 anos de idade no Planalto Catarinense, encontraram um valor médio do comprimento dos traqueídeos de 2,15 mm. Pereira et al. (2003) avaliaram a mesma espécie em Colombo (PR) com 22 anos de idade, encontraram um valor de 2,21 mm para o comprimento médio dos traqueídeos.

Para largura dos traqueídeos o valor médio encontrado de 27,54 μm , também é inferior ao encontrado por outros autores que avaliaram a mesma espécie, Carneiro et al. (2009) obtiveram um valor médio de 29,40 μm e Pereira et al. (2003) observaram que o valor médio da largura dos traqueídeos era de 30,10 μm .

Em relação ao diâmetro de lúmen, o valor médio encontrando (21,73 μm) foi superior ao observado por Carneiro et al. (2009) e Pereira et al. (2003), que foram 18,60 μm e

19,20 μm respectivamente, e semelhante ao encontrado por Colodette (1982 apud CARNEIRO et al., 2009) que foi de 21,80 μm .

Para espessura de parede celular o valor médio encontrado de 2,90 μm também é inferior ao encontrado por outros autores, sendo que Carneiro et al. (2009) encontraram um valor médio de 5,30 μm e Pereira et al. (2003) de 5,50 μm .

As dimensões médias dos traqueídeos de *C. japonica* são inferiores quando comparadas as principais espécies de coníferas utilizadas no Brasil (Tabela 2). Barrichelo (1984 apud CARNEIRO et al., 2009) avaliando *Pinus elliottii* com idade entre 10 e 12 anos, obteve valores médios de 3,86 mm para comprimento dos traqueídeos, 45,80 μm para largura, 28,20 μm para diâmetro de lúmen e 8,80 μm para espessura de parede celular. Para *Pinus taeda*, Vivian et al. (2015) encontraram valores médios de 3,50 mm para comprimento dos traqueídeos, 40,55 μm para largura, 27,71 μm para diâmetro de lúmen e 6,41 μm para espessura de parede.

Tabela 2 - Comparação das dimensões dos traqueídeos com espécies do gênero *Pinus*.

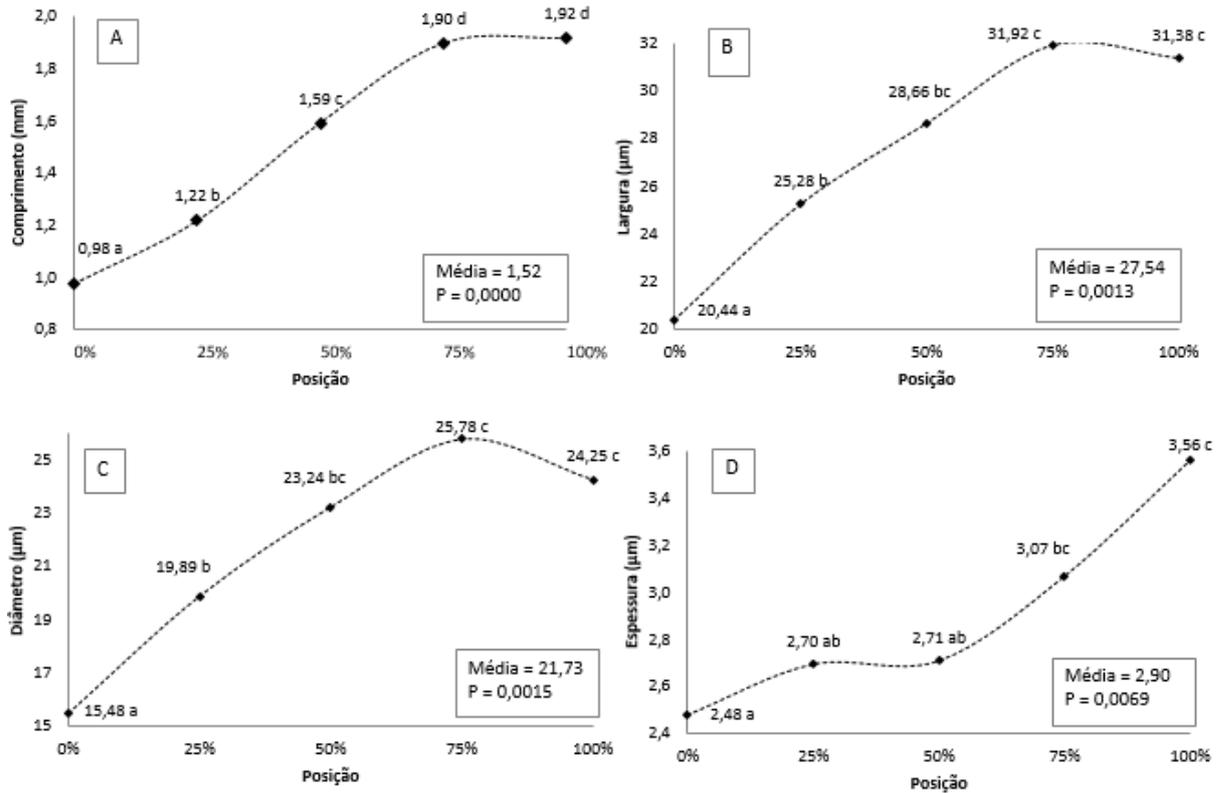
Espécie	Idade (anos)	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro de lúmen (μm)	Espessura de parede (μm)
<i>C. japonica</i> ¹	13	1,52	27,54	21,73	2,90
<i>C. japonica</i> ²	14	2,15	29,40	18,60	5,30
<i>C. japonica</i> ³	22	2,21	30,10	19,20	5,50
<i>P. elliottii</i> ⁴	10 a 12	3,86	45,80	28,20	8,80
<i>P. taeda</i> ⁵	21	3,50	40,55	27,71	6,41

¹Presente estudo; ²Carneiro et al. (2009); ³Pereira et al. (2003); ⁴Carneiro et al. (2009); ⁵Vivian et al. (2015)

Observando a morfologia dos traqueídeos no sentido radial medula-casca (Figura 5), nota-se que as dimensões tendem a ser menores na porção 0% (próximo a medula = anel de crescimento do ano 1), aumentando gradativamente, com uma tendência a estabilizar as suas dimensões próximas a casca, entre as porções 75 e 100%, que correspondem aos anéis de crescimento do ano 10 e 13, respectivamente, com exceção da espessura de parede que apresenta uma tendência de crescimento contínuo.

De forma geral, apesar da madeira avaliada apresentar árvores relativamente jovens, ao observar a figura 5 nota-se uma diferença significativa das dimensões dos traqueídeos no sentido radial medula-casca. O comprimento médio do traqueídeo da porção 0% passa de 0,98 mm para 1,92 mm na porção 100%. Para largura o valor médio encontrado passa de 20,44 μm na porção 0% para 31,38 μm na porção 100%. A mesma tendência é observada para o diâmetro de lúmen e espessura de parede.

Figura 5 - Dimensões dos traqueídeos. (A) Comprimento (mm); (B) Largura (μm); (C) Diâmetro do lúmen (μm); (D) Espessura de parede (μm).



Na Figura 5 é possível observar que ocorreu diferença entre as médias das dimensões nas diferentes posições e de maneira geral, os parâmetros obtidos entre as posições 75 e 100% não diferem. Com exceção da espessura de parede, as dimensões de comprimento, largura e diâmetro de lúmen apresentam valores semelhantes entre si próximo a casca. Nota-se que o crescimento é mais acentuado próximo a medula, tendendo a diminuir próximo a casca. Essa estabilização dos valores pode ser em decorrência da transição de lenho juvenil para adulto, que a madeira sofre naturalmente ao longo do tempo. A madeira próxima a medula apresenta lenho juvenil, enquanto que próximo a casca entre as porções 75 e 100%, onde a madeira apresenta anéis de crescimento entre 10 e 13 anos, respectivamente, o lenho está em transição para tornar-se adulto, em decorrência a ação hormonal da copa.

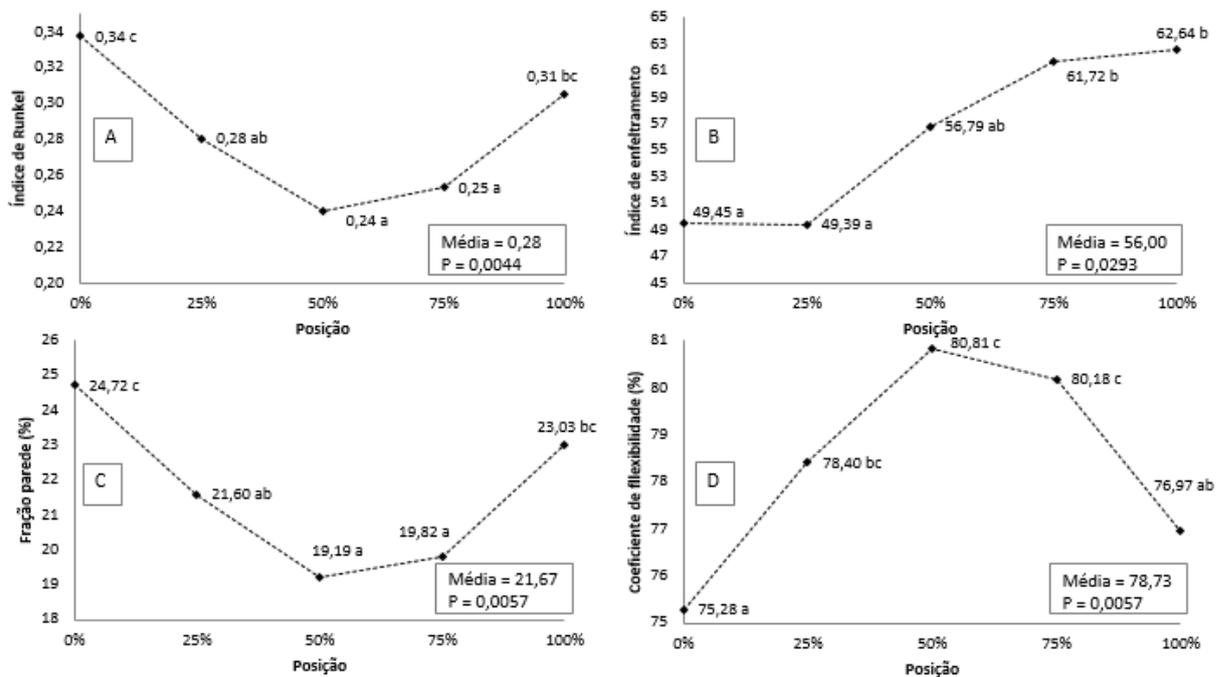
Alguns autores já relataram que a idade de transição da madeira juvenil para adulta fica entre os 7 e 13 anos. Trevisan et al. (2014) ao avaliarem um povoamento de *Pinus elliottii* de 30 anos de idade, constataram que a idade de transição entre lenho juvenil e adulto, ocorreu entre aos 9 e 13 anos. Já Foelkel et al. (1975) também avaliando *Pinus elliottii*, afirmam que a idade de transição foi observada entre os 7 e 9 anos de idade. Vale ressaltar,

que a transição da madeira juvenil para adulta pode depender da espécie, do regime de manejo, sítio de produção, etc.

4.2 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA

Na Figura 6 é possível observar o comportamento dos índices de qualidade da polpa celulósica, e sua variação no sentido radial medula-casca, para a madeira de *C. japonica*.

Figura 6 - Parâmetros da qualidade da polpa no sentido radial medula-casca. (A) Índice de Runkel; (B) Índice de enfeltramento; (C) Fração parede; (D) Coeficiente de flexibilidade.



O índice de Runkel avalia o grau de colapso dos traqueídeos durante o processo de produção de papel, e quanto mais baixo for o índice, maior é o grau de colapso, permitindo aos traqueídeos uma maior superfície de contato, estabelecendo um maior número de ligações entre eles, resultando em um papel de maior resistência a tração e ao estouro. O valor médio obtido para a madeira de *C. japonica* foi de 0,28 (figura 6A); valor que segundo a classificação de Runkel (1952 apud VASCONCELOS, 2005) classifica-a no grupo II – muito boa qualidade para a produção de papel. O valor do índice oscilou entre as posições radiais, mas todas se mantiveram dentro do grupo II (0,25 a 0,50), com exceção da posição 50%, que apresentou valor de 0,24; sendo que se enquadraria no grupo I (<0,25, ou seja, excelente para produzir papel), caso fosse analisada isoladamente.

O índice de enfieltramento é a relação entre o comprimento e largura do traqueídeo, quanto maior for o valor, maior será a resistência ao rasgo do papel. O valor médio encontrado para a madeira de *C. japonica* foi de 56,00 (figura 6B). Percebe-se que os valores são menores próximo a medula, sofrendo um aumento considerável próximo a casca, apresentando diferença estatística entre as médias.

Com relação a fração parede para a madeira de *C. japonica* (figura 6C), obteve-se um valor médio de 21,67%. Para valores abaixo de 40% espera-se uma alta resistência à tração e estouro, mostrando que os traqueídeos podem se colapsar com maior facilidade, conferindo maior resistência ao papel. O valor encontrado para madeira de *C. japonica* pode ser considerado excelente (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993). Apesar das médias apresentarem diferença estatística entre as posições, os valores não ultrapassam 25%.

O valor médio encontrado para o coeficiente de flexibilidade foi de 78,73% (figura 6D), o que pode ser considerado muito bom. O valor do coeficiente não apresentou tendência definida entre as posições radiais. Já que, segundo Costa (2011), quanto maior o coeficiente de flexibilidade mais flexível serão os traqueídeos, conferindo maior resistência à tração e ao estouro do papel.

Na Tabela 3 é possível visualizar a comparação das médias encontradas dos indicadores da qualidade da polpa da madeira de *C. japonica* com a principal espécie de conífera utilizada no Brasil para a produção de polpa celulósica Kraft, o *Pinus taeda*.

Tabela 3 - Comparação dos índices de qualidade.

Espécie	Idade	Índice de Runkel	Índice de enfieltramento	Fração parede (%)	Coefficiente de flexibilidade (%)
<i>C. japonica</i> ¹	13	0,28	56,00	21,67	78,33
<i>C. lusitanica</i> ²	16	0,25	76,50	20,03	79,97
<i>P. taeda</i> ³	21	0,46	86,00	32,00	68,00

¹Presente estudo; ²Corrêa (2016); ³Vivian et al. (2015)

Como pode ser observado na Tabela 3, com exceção do índice de enfieltramento, a espécie em estudo apresentou melhores resultados quando comparados aos valores encontrados por Vivian et al. (2015) para *Pinus taeda*, e muito semelhante aos valores encontrados por Corrêa (2016) avaliando *C. lusitanica*, revelando que a *C. japonica* pode ser uma espécie promissora para a produção de polpa celulósica.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo de caracterização morfológica da madeira de *C. japonica* é possível concluir que:

- os traqueídeos apresentam comprimento médio de 1,52 mm; largura média de 27,54 μm ; diâmetro de lúmen médio de 21,73 μm e espessura de parede celular média de 2,90 μm ;

- as dimensões dos traqueídeos aumentam no sentido radial medula-casca (com exceção da espessura da parede celular), com tendência a estabilizar nas porções do lenho de 75 e 100%, que correspondem aos anéis de crescimento do ano 10 e 13, respectivamente. A estabilização das dimensões dos traqueídeos pode ser indicativo da transição do lenho juvenil para adulto;

- os traqueídeos apresentam ótimos índices que indicam a qualidade para produção de polpa celulósica, sendo considerada excelente pela fração parede (21,67%), muito boa pelo índice de Runkel (0,28) e pelo coeficiente de flexibilidade (78,33%);

- os traqueídeos apresentam dimensões inferiores quando comparados com as principais espécies de coníferas utilizadas no setor de fibras longas, o *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda*, porém, quando comparados os índices de qualidade de polpa celulósica, os resultados foram melhores para quase todos parâmetros analisados para a *C. japonica*.

Por fim, também deve-se levar em consideração na análise o fato da *C. japonica* ainda não possuir um programa consolidado de melhoramento genético como no caso do *Pinus*, e mesmo assim, apresenta boas características tecnológicas para produção de celulose e papel.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira de *C. japonica* apresentou bons parâmetros para a produção de polpa celulósica, entretanto, é fundamental realizar outros estudos, visando analisar a composição química, as propriedades físicas (densidade básica) e fazer os ensaios de polpação, branqueamento e testes físicos e mecânicos nos papéis, com o propósito de identificar o seu potencial.

REFERÊNCIAS

- BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii***. 2009. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista. Itapeva, 2009.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo, Nobel S.A., p. 15-27, 1991, disponível em: <<http://www.ebah.com.br>> Acesso em: 13/09/2017.
- CAPALDI, F. R. **Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio em explantes de *Cryptomeriajaponica* D. DON. “ELEGANS” cultivadas in vitro: análises bioquímicas e relações entre reguladores vegetais**. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado) em Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; USP, Piracicaba, 2002.
- CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. Qualidade da madeira de *Cryptomeriajaponica* D. DON. **FLORESTA**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 913-920, 2009.
- CARPANEZZI, A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPq, 1988. 103 p.
- CORRÊA, R. **Caracterização química e morfológica da madeira de *Cupressus lusitânica* Mill. Para a produção de polpa celulósica**. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.
- COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9. N. 17, p. 36-46, 2014.
- DOBNER JR., M.; TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; ARCE, J. E. Crescimento de um povoamento de *Cryptomeria japonica* no sul do Brasil. **Scintia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 39-46, 2013.
- FERREIRA, A. T. B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaeavar.Hondurensis*Barr. Et Golf**. 2009. 84 f. Tese (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- FLORSHEIM, S. M. B. **Curvas de isopropriedades da madeira em árvores de *Pinus caribaeavar.bahamensis***. 2010. 226 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- FOELKEL, C. E. B. et al. Variabilidade no sentido radial da madeira de *Pinus elliottii*. **Boletim IPEF**, n. 10, p. 1-11, 1975. Disponível em:<<http://www.ipef.br/publicacoes/scintia/nr10/cap01.pdf>>. Acesso em: 14/11/2017.

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

NIGOSKI, 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.

MARANHO, L. T. et al. Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. *Acta bot. Bras. Curitiba*, v. 20, n. 3, p. 633-640, 2006.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. 191 p.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da madeira do cedrinho japonês**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Comunicado técnico, n. 88).

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de *Cryptomeria japonica* para laminação e produção de painéis compensado**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RODRIGUES, A. C. C. **Morfologia de vasos e fibras da madeira de poliploide e clones de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* visando a produção de papel**. 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

SANTOS, C. **Influência da qualidade de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SARTO, C. **Avaliação do processo SuperBatch para produção de polpa celulósica a partir de *Bambusa vulgaris***. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SHYMOYAMA, 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.

SILVA, A. C. Variação dimensional dos elementos xilêmicos em duas espécies madeiras da Amazônia. *Acta Amaz.*, v. 22, n. 2, p. 15-45, Manaus, 1992.

TREVISAN, R. et al. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Pinus elliottii* Engel. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 4, p. 634-638, 2014.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda***. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

VIVIAN, M. A. et al. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n 105, p. 183-191, 2015.

WIKIPÉDIA. **Campo Belo do Sul**. 2017. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_Belo_do_Sul>. Acesso em: 05/11/2017.