

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Alexia Maria de Oliveira da Silva

**Qualidade da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando a produção de celulose de  
fibra longa**

Curitibanos, SC

2022

Alexia Maria de Oliveira da Silva

**Qualidade da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando a produção de celulose de fibra longa**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Curitibanos, SC

2022

Silva, Alexia Maria de Oliveira da  
Qualidade da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando  
a produção de celulose de fibra longa / Alexia Maria de  
Oliveira da Silva ; orientador, Magnos Alan Vivian , 2022.  
p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Propriedades anatômicas da  
madeira . 3. Caracterização tecnológica da madeira . 4.  
Propriedades químicas da madeira. I. , Magnos Alan Vivian.  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. III. Título.

Alexia Maria de Oliveira da Silva

**Qualidade da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando a produção de celulose de fibra longa**

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

Curitiba, 04 de março de 2022.



**Prof. Marcelo Bonazza, Dr.**  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



**Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.**  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



**Profª. Karina Soares Modes, Drª.**  
Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina



**Prof. Marcelo Bonazza, Dr.**  
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe e irmã.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar por sempre me conduzir com as devidas lições e aprendizagem durante a caminhada acadêmica.

A minha mãe, Lilian Ap. de Oliveira, que sempre me apoiou, me incentivando em todos os momentos pessoais e de estudante e por sua dedicação em ajudar a tornar isso possível.

A minha irmã, Valentina do Prado, pela amizade, companheirismo e compreensão.

Aos meus familiares, namorado, amigos e colegas que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui, nos momentos bons e difíceis.

Ao meu orientador, pela disponibilidade, compreensão e dedicação para me ensinar a desenvolver o presente trabalho e durante a graduação o conhecimento que me foi transmitido.

A empresa Florestal Gateados por ter disponibilizado a madeira para a realização do trabalho.

Muito obrigada, a todos que de alguma forma contribuíram para que o trabalho fosse realizado.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Cunninghamia lanceolata* aos 24 anos de idade, visando a produção de celulose de fibra longa. Para isso, foram coletadas 3 árvores médias, das quais extraíram-se discos ao longo do fuste, para avaliação da densidade básica, composição química e morfologia dos traqueídeos. Com base na densidade básica observada ( $0,350 \text{ g/cm}^3$ ), a madeira de *C. lanceolata* pode ser classificada como leve ou de baixa densidade. Em relação a composição química, observaram-se percentuais de cinzas (0,35%) e extrativos totais (4,36%) dentro da faixa de amplitude esperada para coníferas, porém elevado teor de lignina (33,25%) e baixo teor de holocelulose (62,39%). Na análise morfológica dos traqueídeos observaram-se elementos moderadamente longos (2,14 mm) e largos ( $40,55 \mu\text{m}$ ), com parede celular espessa ( $3,54 \mu\text{m}$ ). Os indicadores anatômicos obtidos para a espécie, como índice de Runkel (0,23), coeficiente de flexibilidade (81,94%) e fração da parede (18,06%) são considerados excelentes para produção de papel. Com base nas características observadas, a madeira de *C. lanceolata*, em crescimento nas condições brasileiras, apresenta potencial para produção de polpa celulósica, levando em consideração os excelentes indicadores anatômicos para fabricação de papel, como índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade.

**Palavras-chave:** Pinheiro-chinês. Conífera. Composição química. Composição anatômica.

## ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the physical, chemical and anatomical characteristics of the *Cunninghamia lanceolata* wood at its 24 years old, aimed at the production of long-fiber pulp. For this, three medium trees were collected, from which discs were extracted along the log, to evaluate the basic density, chemical composition and morphology of the tracheids. Based on the observed basic density ( $0.350 \text{ g/cm}^3$ ), *C. lanceolata* wood can be classified as low to light density. Regarding the chemical composition, values of the ash content (0.35%) and the total extractives content (4.36%) were observed within the range expected for conifers, but with high lignin content (33.25%) and low content of holocellulose (62.39%). In the morphological analysis of the tracheids, moderately long (2.14 mm) and wide ( $40.55 \mu\text{m}$ ) elements were observed, with a thick cell wall ( $3.54 \mu\text{m}$ ). According to anatomical indicators, such as the Runkel index (0.23), flexibility coefficient (81.94%), and wall fraction (18.06%), tracheids can be considered excellent for paper production. Based on the observed characteristics, the wood of *C. lanceolata* has potential for use in Brazil, principally for the production of pulp, considering the excellent anatomical indicators for papermaking, such as Runkel index, wall fraction and flexibility coefficient.

**Keywords:** Chinese fir. Conifers. Chemical Composition. Wood anatomy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Cunninghamia lanceolata</i> .....	15
Figura 2 - Coleta do material: (A) Derrubada, (B) Discos coletados, (C) Exsudação de extrativos na transição madeira-casca e (D) Marcação das amostras. ....	18
Figura 3 - Determinação do volume pelo método da balança hidrostática. ....	19
Figura 4 - (A) Disco com posições marcadas e (B) Fragmentos da madeira. ....	20
Figura 5 - Tubos de ensaio contendo os fragmentos de madeira e reagentes em banho maria. ....	21
Figura 6 - (A) Lâmina com macerado e (B) Imagem do comprimento dos traqueídeos.....	21
Figura 7 - Densidade básica da madeira de <i>C. lanceolata</i> .....	23
Figura 8 - Caracterização da composição química da madeira de <i>C. lanceolata</i> . ....	25
Figura 9 - Dimensões dos traqueídeos ao longo do raio da madeira de <i>C. lanceolata</i> . (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede celular. ....	27
Figura 10 - Indicadores anatômicos de qualidade ao longo do raio da madeira de <i>C. lanceolata</i> . (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfieltramento. ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da densidade básica da madeira de <i>C. lanceolata</i> e outras coníferas.	24
Tabela 2 - Comparação da composição química da madeira de <i>C. lanceolata</i> com outras espécies de coníferas. ....	26
Tabela 3- Comparação das dimensões médias dos traqueídeos da madeira de <i>C. lanceolata</i> com outras espécies de coníferas.....	28
Tabela 4 - Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de <i>C. lanceolata</i> com outras espécies de coníferas. ....	30

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DAP – Diâmetro à Altura do Peito = 1,30 m

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

LRF – Laboratório de Recursos Florestais

LQCE – Laboratório de Química, Celulose e Energia.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	13
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1	PANORAMA ATUAL DO SETOR FLORESTAL.....	14
2.2	<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lambert) Hooker. ....	14
2.3	PROPRIEDADES DA MADEIRA QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL .....	16
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
3.1	COLETA DO MATERIAL .....	18
3.2	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA .....	18
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA .....	20
3.4	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS .....	20
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	22
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
4.1	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA .....	23
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA .....	25
4.3	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS .....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
	<b>ANEXO A – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS E LIGNINA DA MADEIRA .....</b>	<b>39</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A madeira constitui-se no mais valioso produto que pode ser obtido das florestas, pois a gama de utilização da mesma é vasta, como a produção de energia, decoração, construção civil, celulose e papel, etc. (BARRICHELO; BRITO, 1979).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose, atingindo no ano de 2020 o total de 21,0 milhões de toneladas, com destaque para o segmento de fibra curta (no qual é líder mundial), que representa 86,7% da produção nacional, oriunda da madeira de espécies/híbridos do gênero *Eucalyptus*. A produção de fibra longa representa 10,9% do total, a qual é concentrada essencialmente no gênero *Pinus* (IBÁ, 2021). Uma tendência observada nos últimos anos é a gradual redução da área plantada de *Pinus*, e a ampliação das áreas com *Eucalyptus*, especialmente na região sudeste, tendência a ocorrer na região sul também, pois o valor de mercado não é tão atrativo (INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTA, 2020).

A celulose de fibra longa tem como origem espécies de coníferas como o *Pinus*, que é utilizado na fabricação de papéis mais resistentes, como papéis de embalagens, papel jornal entre outros papéis que demandam maior resistência (IBÁ, 2015).

Para que o setor florestal não seja limitado às espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, é de extrema importância o estudo de novas espécies, tal como a *Cunninghamia lanceolata*, visando disponibilizar alternativas para abastecimento do setor de celulose e papel, em especial o segmento de fibra longa. A *C. lanceolata*, conhecida popularmente como “pinheiro chinês” ou “Chinese fir”, é uma conífera pertencente à família Cupressaceae, originária da China, com ocorrência no Vietnã, Laos e Cambodia (THE GYMNOSPERM DATABASE, 2019).

A *C. lanceolata* é uma das espécies mais importantes e plantadas na China, ocupando uma área de aproximadamente 25% das plantações florestais do sul do país (Zheng *et al.*, 2015; Wen *et al.*, 2018). A espécie ocorre naturalmente nas regiões central e sul da China, em altitudes que variam entre 600 a 1.300 m, em locais onde o clima se caracteriza como temperado e subtropical úmido, com verões quentes e chuvosos, bem como invernos frios e secos, entretanto sem déficit hídrico (EMBRAPA, 1988).

A referida espécie não é muito exigente quanto à qualidade do solo, desenvolvendo-se bem em solos fracos, com exceção de campos e solos erodidos (FOELKEL; CLEMENTE; ZVINAKEVICIUS, 1978), e sendo adaptada também a regiões mais frias. Sendo assim a espécie possui um grande potencial na região sul do Brasil, já que as características de solo e clima são parecidas com as de sua região de origem.

Diante disso, embora já existam alguns estudos com a madeira de *C. lanceolata* de uso ornamental, poucos deles foram desenvolvidos com a espécie em crescimento na região sul do Brasil. Para melhor aproveitamento da madeira é essencial à avaliação de suas propriedades físico-químicas e anatômicas, as quais indicarão suas aptidões, com destaque para produção de celulose e papel (VIVIAN *et al.* 2021). Ainda conforme os mesmos autores, entre as propriedades que se destacam estão a densidade básica, a composição química e as dimensões dos traqueídeos, que afetam diretamente os parâmetros de polpação e propriedades do papel produzido.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando a produção de celulose de fibra longa.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a densidade básica da madeira e sua variação longitudinal no fuste;
- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia dos traqueídeos e sua variação radial no tronco;
- Calcular os indicadores de qualidade para produção de polpa celulósica e papel com base nos parâmetros morfológicos dos traqueídeos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PANORAMA ATUAL DO SETOR FLORESTAL

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021) no ano de 2020 o Brasil possuía cerca de 9,5 milhões de hectares de florestas plantadas, em que 37% pertencem a empresas do segmento de celulose e papel. Além da área de florestas plantadas, as empresas florestais são responsáveis por mais 6,0 milhões de hectares de áreas conservadas, como reservas legais, áreas de preservação permanente, reservas particulares do patrimônio natural e áreas de alto valor de conservação (IBÁ, 2021).

A área de florestas plantadas no Brasil é responsável por suprir a demanda de 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país, sendo que os demais 9% vêm de florestas naturais legalmente manejadas (IBÁ, 2021). O valor de produção estimado do setor em 2020 foi de R\$ 116,6 bilhões, com um crescimento de 17,6% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2021).

Em relação à produção de celulose e papel, o Brasil ocupa a segunda e décima posições do ranking mundial, com 21,0 e 10,2 milhões de toneladas, respectivamente (IBÁ, 2021). De acordo com o mesmo relatório, o Brasil é o maior exportador de celulose de mercado do mundo, exportando 75% da celulose produzida no país, tendo como principais destinos a China e Estados Unidos.

Outro aspecto econômico importante é a balança comercial, que apresentou um saldo positivo de US\$ 8,9 bilhões em 2020, com destaque para os produtos “celulose” e “papel”, com US\$ 6,0 e 1,7 bilhões, respectivamente (IBÁ, 2021).

### 2.2 *Cunninghamia lanceolata* (Lambert) Hooker.

A *Cunninghamia lanceolata*, conhecida pelo nome vulgar de pinheiro chinês ou “Chinese fir” (Figura 1A), é uma conífera pertencente à família Cupressaceae (antigamente pertencia a família Taxodiaceae), originária da China, onde é amplamente plantada, com ocorrência no Vietnã, Laos e Cambodia (THE GYMNOSPERM DATABASE, 2019).

É considerada uma árvore perenifólia, pois não tem perdas consideráveis de folhas durante o ano, seus ramos são piramidais, os frutos possuem um formato de cones ovoide-globosos (Figura 1B), tronco reto com casca marrom que se desprende em lâminas irregulares (Figura 1C). Pode atingir 50 metros de altura e diâmetro de até 300 cm. Possui estróbilos



masculinos e femininos na mesma planta. A polinização é anemocórica, ou seja, pelo vento e sua dispersão é zoocórica, acredita-se que seja pelo macaco-prego (LORENZI, 2003; THE GYMNOSPERM DATABASE, 2019). Cresce em altitudes que variam 600 a 1.300 metros (FOELKEL; CLEMENTE; ZVINAKEVICIUS, 1978), sendo tolerante a geadas, embora as árvores jovens possam sofrer danos abaixo de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (JOKER, 2000).

Figura 1 – *Cunninghamia lanceolata*.



Fonte: LOPES (2014).

De acordo com Joker (2000) a floração e a formação de sementes começam quando as árvores estão com 6 a 8 anos de idade. Flores femininas são formadas no outono, fechadas em escamas folhosas que abrem em março e abril. Flores masculinas florescem de 5-10 dias em meados de final de março, quando a temperatura mensal atinge entre 10 e 13  $^{\circ}\text{C}$ . As sementes amadurecem em outubro-novembro. As sementes não têm dormência e o pré-tratamento não é necessário. A germinação pode ser melhorada por imersão das sementes em água morna (JOKER, 2000).

A espécie que inicialmente foi introduzida no Brasil como árvore ornamental, foi reproduzida e passou a ser utilizada para plantações comerciais homogêneas. Não é muito exigente quanto à qualidade do solo, desenvolvendo-se bem em solos fracos, com exceção de campos e solos erodidos (FOELKEL; CLEMENTE; ZVINAKEVICIUS, 1978). Para a espécie o pH do solo superficial deve estar entre 4,7 e 6,4 (JOKER, 2000).

O ciclo de corte da espécie em áreas de plantios de ocorrência natural é de 25 anos (CHUNG *et al.*, 2011) a 30 anos (XIANGQING *et al.*, 2002). Essa conífera é uma das poucas espécies que é possível de ser manejada pelo sistema de talhadia e apresenta rebrota intensa a partir das gemas dormentes (EMBRAPA, 1988; MARCHIORI, 2005).

Possui alta resistência ao apodrecimento (FREITAG; MORREL, 2006) e aos insetos (MARCHIORI, 2005). A madeira é leve e macia, considerada excelente para construções civis, pontes e navios, além de possuir propriedades boas para polpação (LI; RITCHIE, 1999), um dos motivos para que ela seja tão valiosa na China (CHUNG *et al.*, 2011). Além do uso da madeira para a produção de casas, postes, barcos, móveis, a casca é usada para taninos, e ramos para extrair óleo usado para perfumes (JOKER, 2000).

No Brasil a espécie apresenta crescimento inicial lento, demorando cerca de quatro anos para o seu pleno estabelecimento, entretanto, o incremento médio anual em volume é satisfatório ( $28,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), mesmo em condições de elevada competição (DOBNER JR *et al.*, 2017).

### 2.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

De acordo com Vivian *et al.* (2021), para o melhor aproveitamento da madeira é essencial a avaliação e o conhecimento de suas propriedades físico-químicas e anatômicas. Conforme os mesmos autores, entre as principais propriedades que afetam a produção de celulose e papel estão a densidade básica, a composição química e as dimensões dos traqueídeos.

A densidade básica é um índice importante que evidencia a qualidade da madeira (FOCKEL; MORA; MENOCELLI, 1992), sendo que na produção de celulose, afeta a velocidade de impregnação da mesma pelo licor de cozimento e no ritmo de deslignificação. Esses processos mencionados anteriormente são influenciados pela densidade, por consequência de que madeiras menos densas são mais fáceis de deslignificar, resultando em um produto final padronizado (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971).

A densidade básica da madeira influencia no custo da madeira produzida, no rendimento no processo industrial e a qualidade da polpa (SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004). Para a indústria de celulose e papel fazer uma avaliação adequada da densidade básica mostrará as indicações da impregnação dos cavacos e rendimento do processo e isso está associada às

características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa (QUEIROZ *et al.*, 2004).

A composição química da madeira é muito importante para que seja realizada a escolha da espécie para o processo de polpação, pois é um dos fatores que determinam a etapa de cozimento, sendo os componentes químicos principais a celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas (KLOCK *et al.*, 2005).

A celulose exerce influência na resistência da fibra individual e na ligação entre fibras (ALVES, 2010). Já as hemiceluloses podem interferir no rendimento da produção de polpa celulósica e papel (SANTOS, 2005). Segundo Coelho (2017) as hemiceluloses, apesar da interferência no rendimento, são compostos desejáveis nos processos de polpação, pois contribuem para a resistência da polpa.

A lignina na produção de polpa celulósica é um composto indesejável, já que reduz o rendimento do processo de cozimento e aumenta o consumo de reagentes na polpação (SILVA JÚNIOR, 2005). Assim como a lignina, os extrativos podem ser desfavoráveis, pois também reduzem o rendimento e aumentam o consumo de reagentes químicos e podem causar incrustações nos equipamentos industriais ou como são conhecidos depósitos de “pitch” (ANDRADE, 2006).

De acordo com Freddo *et al.* (1999) as madeiras que possuem baixos teores de cinzas são as mais indicadas para serem utilizadas para produção de celulose, pois madeiras com elevados teores de cinzas podem gerar incrustações, entupimentos nos equipamentos e como consequência, perdas na produção.

As propriedades anatômicas, em especial os traqueídeos no caso de coníferas, têm influência direta na qualidade da polpa, onde o comprimento, largura e espessura da parede, podem afetar a produção de polpa celulósica, sendo assim o segmento de “fibra longa” (como são conhecidos os traqueídeos de coníferas, devido ao seu comprimento) irão resultar em papeis mais resistentes ao estouro (ALVES *et al.*, 2011).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA DO MATERIAL

Para condução do estudo utilizou-se a madeira de *Cunninghamia lanceolata* proveniente de um plantio experimental, pertencente a empresa Florestal Gateados Ltda., com 24 anos de idade, localizado em Campo Belo do Sul/SC, a uma latitude de 27°57'06"S, e longitude de 50°49'08"O, com altitude de 920 m. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é Cfb, com chuvas bem distribuídas, sem estação de seca e geadas severas (EMBRAPA, 1988).

Foram derrubadas três árvores representativas do povoamento (diâmetro médio de 23,7 cm, altura média de 19,6 m, altura comercial de 15,5 m), com o auxílio de um motosserra, das quais foram retirados discos com 3,0 cm de espessura das posições: 0, DAP (diâmetro a altura do peito), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 8,0 cm na ponta fina), para a determinação da densidade, composição química, e morfologia dos traqueídeos da madeira. O material após a coleta (Figura 2) foi transportado para o Laboratório de Recursos Florestais (LRF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, para condução das demais etapas do estudo.

Figura 2 – Coleta do material a campo. (A) Derrubada, (B) Discos coletados, (C) Exsudação de extrativos na transição madeira-casca e (D) Marcação das amostras.



Fonte: O autor (2022).

#### 3.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A densidade básica foi determinada a partir dos discos retirados das diferentes posições do fuste, dos quais foram confeccionadas duas cunhas, diametricamente opostas, conservando as mesmas em água até a completa saturação da madeira.

Em seguida, determinou-se o volume verde/saturado ( $\text{cm}^3$ ) para cada uma das cunhas, através do método da balança hidrostática (Figura 3), conforme a norma NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Figura 3 – Determinação do volume pelo método da balança hidrostática.



Fonte: O autor (2022).

Após a obtenção do volume, as cunhas foram submetidas a secagem a  $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , em estufa com circulação forçada de ar, até atingir massa constante (massa seca, em g). A partir dos valores de massa e volume, determinou-se a densidade básica através da equação 1.

$$Db = \frac{Ms}{Vs} \quad (1)$$

Em que:  $Db$  = densidade básica,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $Ms$  = massa seca, g; e  $Vs$  = volume saturado,  $\text{cm}^3$ .

Após a obtenção dos valores de densidade em cada posição (através da média das duas cunhas confeccionadas de um mesmo disco), calculou-se a densidade básica ponderada, utilizando os diâmetros dos discos nas diferentes alturas e respectiva densidade básica, conforme metodologia descrita por Vivian *et al.* (2021) (Equação 2).

$$Dbp = \frac{1}{2} \frac{(D_{0\%}^2 + D_{dap}^2) \cdot (d_{0\%} + d_{dap}) + (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2) \cdot (d_{dap} + d_{25\%}) + (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2) \cdot (d_{25\%} + d_{50\%}) + (D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2) \cdot (d_{50\%} + d_{75\%}) + (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) \cdot (d_{75\%} + d_{100\%})}{D_{0\%}^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (2)$$

Em que:  $Dbp$  = densidade básica ponderada,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $D_{(0\%)}$ ,  $D_{(dap)}$ ,  $D_{(25\%)}$ ,  $D_{(50\%)}$ ,  $D_{(75\%)}$  e  $D_{(100\%)}$  = diâmetros dos discos em diferentes alturas, cm; e  $d_{(0\%)}$ ,  $d_{(dap)}$ ,  $d_{(25\%)}$ ,  $d_{(50\%)}$ ,  $d_{(75\%)}$  e  $d_{(100\%)}$  = densidade básica em diferentes alturas,  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

### 3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A composição química foi determinada por meio de uma amostra composta de material proveniente dos discos retirados ao longo do fuste, que foi transformada em serragem utilizando-se um moinho do tipo Willey e classificada em peneiras vibratórias (40 e 60 *mesh*), selecionando-se a fração que ficou retida na peneira de 60 *mesh*.

Determinou-se, em triplicata, os seguintes compostos: cinzas e extrativos totais de acordo com metodologia descrita pela Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1997; TAPPI, 2002), lignina e holocelulose, conforme Vivian *et al.* (2015) (Anexo A). As análises foram realizadas pelo Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (USP), localizada em Piracicaba/SP.

### 3.4 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Para estudo da morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. lanceolata* foram preparadas baguetas de 2,0 cm de largura no sentido radial (medula-casca), dos discos retirados da base das árvores. Destas foram extraídas amostras nas porções 0, 25, 50, 75 e 100% da distância radial (0% = próximo da medula, 100% = próximo da casca), para determinar a variação das dimensões dos traqueídeos (Figura 4A). Essas porções em seguida foram transformadas em pequenos fragmentos (palitos), para posteriormente serem macerados (Figura 4B).

Figura 4 – (A) Disco com bagueta e posições demarcadas e (B) Fragmentos de madeira das posições de amostragem no sentido radial.



Fonte: O autor (2022).

Os fragmentos foram inseridos em tubos de ensaio identificados, já contendo reagentes químicos, para a separação dos traqueídeos dos demais componentes celulares, sendo mantidos em banho maria a 100 °C, por aproximadamente 1 h, até a individualização dos traqueídeos (Figura 5). A solução macerante foi composta de ácido acético + ácido nítrico + água (na proporção de 5:2:1).

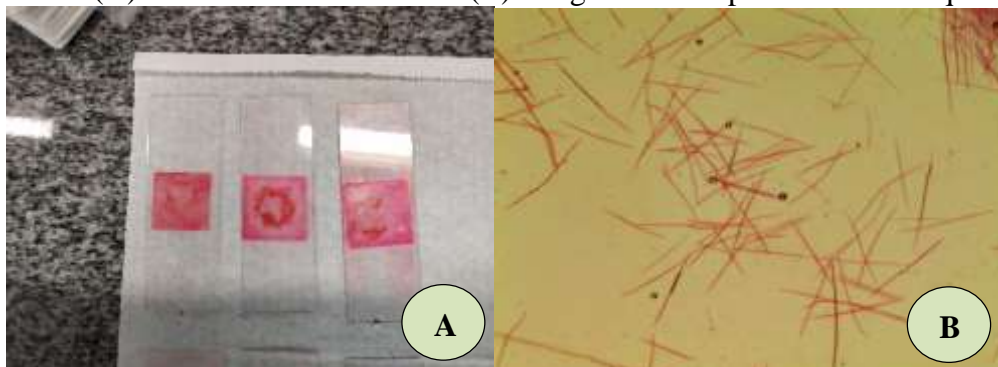
Figura 5 – Tubos de ensaio contendo os fragmentos de madeira e reagentes em banho maria.



Fonte: O autor (2022).

Decorrido o período, o macerado resultante foi lavado com água destilada até a total remoção das substâncias utilizadas no processo. A partir de porções do macerado foram montadas lâminas com adição de uma gota de safranina, uma de água e uma de glicerina, além de uma lamínula sobre o material (Figura 6A), sendo estas observadas em microscópio e lupa, dotados de câmera acoplada, para a visualização detalhada dos traqueídeos (Figura 6B).

Figura 6 – (A) Lâmina com macerado e (B) Imagem do comprimento dos traqueídeos.



Fonte: O autor (2022).

Foram obtidas imagens a partir de uma lupa (aumento de 6,3 vezes para o comprimento) e um microscópio (aumento de 400 vezes para largura e diâmetro do lúmen). A partir das mesmas foram mensurados os seguintes parâmetros: comprimento, largura e diâmetro de lúmen, seguindo as recomendações da norma da International Association of Wood

Anatomists (IAWA, 1989). Após a obtenção destas medidas, calcularam-se a espessura da parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de enfeltramento e índice de Runkel, com base nas equações 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente. Foram mensurados 35 traqueídeos por posição, num total de 525 traqueídeos (35 traqueídeos x 5 posições x 3 árvores)

$$E = \left(\frac{L-DL}{2}\right) \quad (3)$$

$$FP = \left(\frac{2.E}{L}\right) \cdot 100 \quad (4)$$

$$CF = \left(\frac{DL}{L}\right) \cdot 100 \quad (5)$$

$$IE = \left(\frac{C}{\frac{L}{1000}}\right) \quad (6)$$

$$IR = \left(\frac{2 \cdot E}{DL}\right) \quad (7)$$

Em que: E = espessura de parede celular,  $\mu\text{m}$ ; L = largura da fibra,  $\mu\text{m}$ ; DL = diâmetro do lúmen,  $\mu\text{m}$ ; C = comprimento da fibra, mm; FP = fração parede, %; CF = coeficiente de flexibilidade, %; IE = índice de enfeltramento; IR = índice de Runkel.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

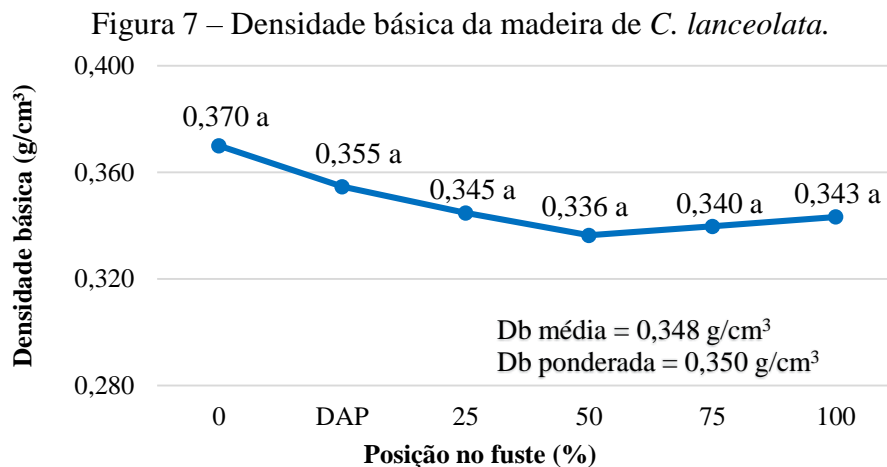
Os dados foram armazenados em uma planilha do programa Excel® e analisados com auxílio do software estatístico Sisvar (versão 5.7). Os dados gerados a partir da avaliação da composição química foram submetidos a uma análise estatística descritiva. Já a morfologia dos traqueídeos e a densidade básica foram submetidas a uma análise de variância (ANOVA) em delineamento inteiramente casualizado (DIC), a qual foi submetida a análise dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância, e quando significativo aplicou-se o teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro, para avaliação da variação no sentido radial (morfologia) ou axial (densidade) das propriedades.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Na figura 7 observa-se a variação longitudinal da densidade básica da madeira *C. lanceolata* ao longo do fuste.



Fonte: O autor (2022).

A madeira de *C. lanceolata* apresentou uma densidade básica média de 0,348 g/cm<sup>3</sup> e ponderada de 0,350 g/cm<sup>3</sup>, o que permite classificá-la como leve ou de baixa densidade (<0,40 g/cm<sup>3</sup>), conforme classificação da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). Pode ser observado que não houve diferença estatística entre os valores de densidade básica ao longo do fuste, tal comportamento é interessante, pois independe da posição do fuste que será utilizada, terá homogeneidade, o que é positivo levando em consideração os processos de polpação, sendo que madeira apresentará as mesmas características.

A densidade básica encontrada no presente estudo para *C. lanceolata* com 24 anos está acima da relatada por Foelkel, Clemente e Zvinakevicius (1978), que avaliaram árvores da mesma espécie com 13 anos, provenientes de um povoamento homogêneo localizado em Viçosa/MG, tendo média de 0,329 g/cm<sup>3</sup> e por Guo *et al.* (2018) para a espécie aos 20 anos, que encontraram uma média de 0,332 g/cm<sup>3</sup>.

Pode-se perceber que existe variação da densidade básica conforme a idade, sendo que quanto mais jovem menor a densidade, o que pode estar relacionado a presença de madeira juvenil e adulta, e pela proporção dos lenhos inicial e tardio, que variam nestas. De acordo com

Vidaurre (2012), quanto mais velha a madeira, maior a presença de lenho adulto, o que confere maior densidade.

Entretanto, Fung (1993) relata o valor médio de 0,315 g/cm<sup>3</sup> para a madeira de *C. lanceolata* aos 25 anos de idade, sendo inferior ao resultado do presente estudo com árvores de 24 anos. Desta forma, outros fatores podem afetar a densidade, não apenas a idade, mas o sítio, condições de crescimento, manejo da floresta, entre outros.

Na tabela 1 pode ser observada a comparação da densidade básica da madeira de *C. lanceolata* com outras espécies de coníferas, como o *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica*.

Tabela 1 – Comparação da densidade básica da madeira de *C. lanceolata* e outras coníferas.

<b>Espécie</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Idade (anos)</b>
<i>C. lanceolata</i> <sup>1</sup>	0,350	24
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	0,435	21
<i>P. elliottii</i> <sup>3</sup>	0,472	15
<i>C. lusitanica</i> <sup>4</sup>	0,396	19
<i>C. japonica</i> <sup>5</sup>	0,356	35

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2022); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Palermo *et al.* (2004); <sup>4</sup> Almeida *et al.* (2017); <sup>5</sup> Trianoski *et al.* (2013).

De acordo com a tabela 1, a densidade básica da madeira *C. lanceolata* se aproxima mais da observada para a madeira de *C. japonica*, seguida da madeira de *C. lusitanica*, e inferior à das madeiras de uso tradicional, como *P. taeda* e *P. elliottii*.

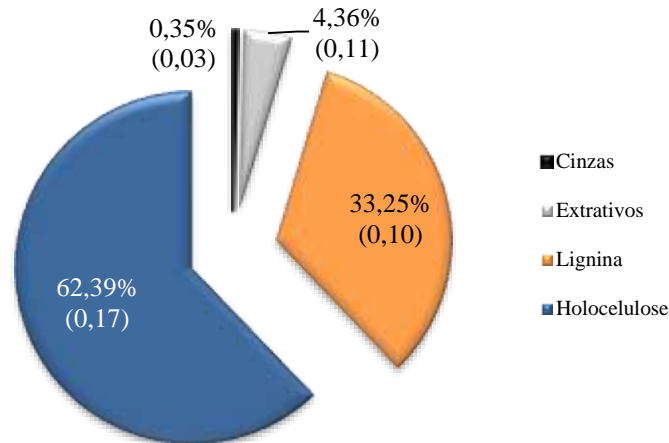
A faixa ideal de densidade básica para a fabricação de polpa celulósica é bastante discutida, sendo que Dias e Simonelli (2013) indicam que a madeira deve apresentar valor dentro do intervalo de 0,40 a 0,55 g/cm<sup>3</sup> para que se obtenha um bom rendimento.

Contudo essa discussão é muito ampla, Vivian *et al.* (2020) e Fantuzzi Neto (2012) afirmam que madeiras com densidade alta e baixa podem ter os mesmos rendimentos se houver cuidados em relação ao fator H utilizado, e que madeiras de baixa densidade são mais fáceis de picar, impregnar e cozinhar. Assim, mesmo que a densidade básica encontrada para a madeira de *C. lanceolata* esteja abaixo da faixa considerada ideal, é possível obter bons resultados.

## 4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Na figura 8 observam-se os percentuais referentes a composição química da madeira de *C. lanceolata*. Os valores entre parênteses indicam o desvio padrão dos dados.

Figura 8 – Caracterização da composição química da madeira de *C. lanceolata*.



Fonte: O autor (2022).

Os valores obtidos para cinzas (0,35%) e extrativos (4,36%) encontram-se no intervalo citado por Klock e Andrade (2013) para coníferas (cinzas entre 0,2 e 0,5% e extrativos entre 2,0 e 8,0%). Já de acordo com o intervalo relatado pelos mesmos autores para lignina (entre 26,0 e 30,0%) e holocelulose (entre 65,0 e 73,0%), os valores observados para a madeira de *C. lanceolata* apresentam-se acima (33,25%) e abaixo (62,39%) do recomendado ideal, respectivamente.

César *et al.* (2017) encontraram para a espécie de *C. lanceolata* com 18 anos, proveniente de Monte Verde/MG, valores superiores para o teor de cinzas (0,55%) e extrativos (9,93%), e valores inferiores para teor de lignina (31,82%) e holocelulose (57,70%).

Na tabela 2 pode ser observada a comparação das características químicas da madeira de *C. lanceolata* com outras espécies de coníferas. Percebe-se que a mesma apresenta, de forma geral, valores que se aproximam a composição química das madeiras de *C. japonica* e *C. lusitanica*, com pequenas variações dependendo do composto.

Quando a madeira de *C. lanceolata* é comparada com espécies do gênero *Pinus*, tanto o *P. taeda* quanto o *P. elliottii*, a mesma apresenta maiores teores de lignina e de extrativos, e menor teor de holocelulose.

Tabela 2 – Comparação da composição química da madeira de *C. lanceolata* com outras espécies de coníferas.

<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>TC (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>TL (%)</b>	<b>HC (%)</b>
<i>C. lanceolata</i> <sup>1</sup>	24	0,35	4,36	33,25	62,39
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	-	2,83	26,71	70,46
<i>P. elliottii</i> <sup>3</sup>	22	0,41	3,00	28,00	68,80
<i>C. lusitanica</i> <sup>4</sup>	16	0,27	2,13	32,52	65,08
<i>C. japonica</i> <sup>5</sup>	35	0,39	3,77	35,46	-

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2022); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Balloni (2009); <sup>4</sup> Vivian *et al.* (2020); <sup>5</sup> Fonte *et al.* (2017).  
Em que: TC - teor de cinzas TE – teor de extrativos; TL – teor de lignina; HC – teor de holocelulose.

O baixo teor de cinzas observado para a madeira de *C. lanceolata* é uma característica desejável na indústria de celulose, pois estas quando se acumulam podem ocasionar problemas como corrosão e entupimento do maquinário, diminuindo assim sua vida útil, e como consequência perdas de produção (CARDOSO *et al.*, 2001).

Quando trata-se do teor de extrativos, é desejável que este seja baixo, pois a presença dos mesmos no processo pode aumentar o consumo de reagentes, tanto na polpação quanto no branqueamento da polpa celulósica (DIAS; SIMONELLI, 2013), além disso podem causar também incrustações nos equipamentos, conhecidos como *pitch* (BARBOSA *et al.*, 2005). A madeira de *C. lanceolata* possui um valor relativamente elevado de extrativos (4,36%) quando comparada com o *P. taeda*, que é uma das espécies mais utilizadas para produção de celulose de fibra longa no Brasil, embora se enquadre dentro da amplitude esperada para coníferas, como citado anteriormente.

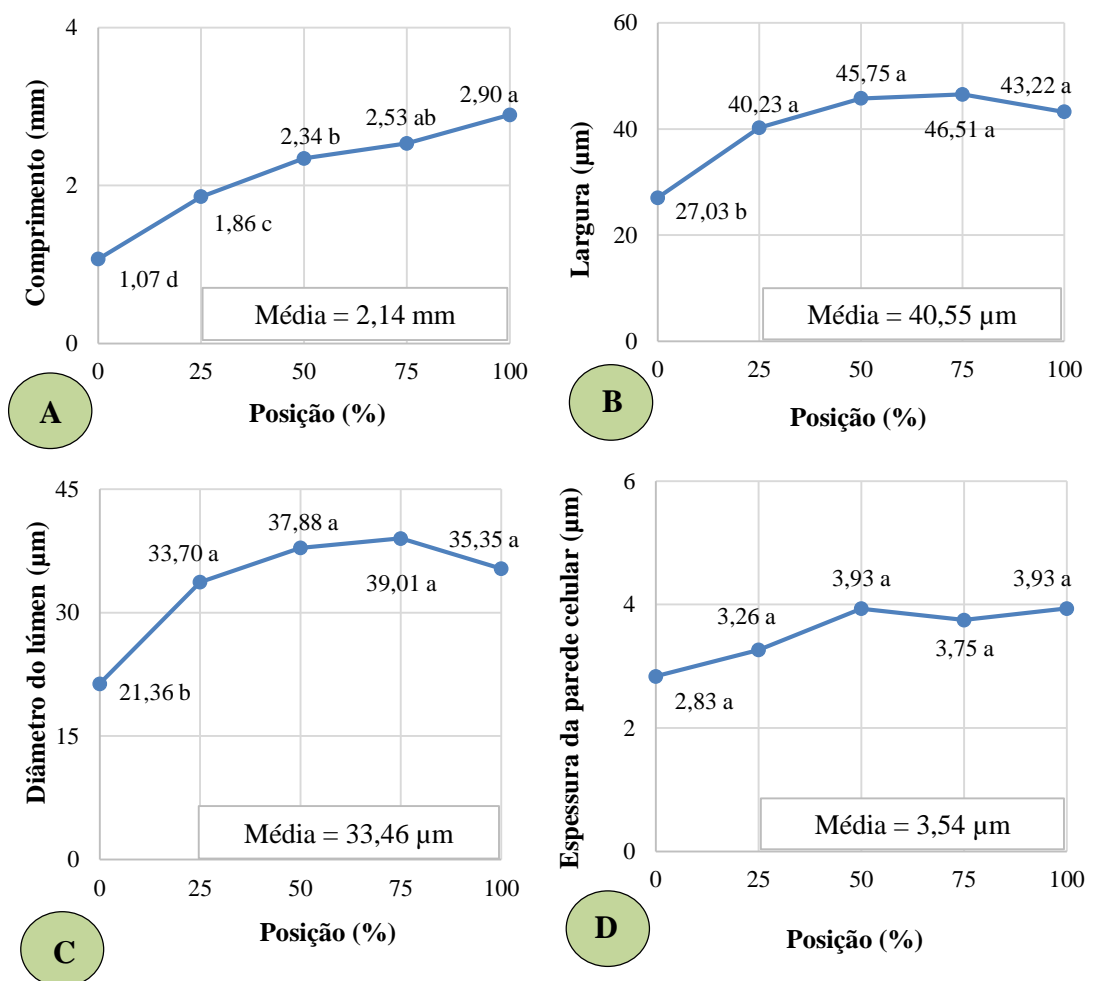
O alto teor de lignina observado para a madeira de *C. lanceolata* é indesejável para a produção de polpa celulósica, pois aumenta o consumo de reagentes para individualização dos traqueídeos. Além disso, o teor de holocelulose observado para a espécie é baixo, o que pode resultar em menor rendimento de polpa celulósica.

Comparando com o *P. taeda*, que é a espécie mais utilizada para produção de celulose de fibra longa do país, a *C. lanceolata* apresenta valor de lignina superior e de holocelulose inferior, sendo os dois aspectos muito desfavoráveis para a mesma. Vale a pena ressaltar que a *C. lanceolata* ainda não foi submetida a programas de melhoramento genético florestal aqui no país, ao contrário do gênero *Pinus*, o que indica que a mesma ainda tem margem para melhoria de suas propriedades, pensando especialmente nestes dois aspectos.

### 4.3 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Na figura 9 observam-se os valores médios das dimensões dos traqueídeos ao longo do raio da madeira de *C. lanceolata* (0 = próximo a medula, 100% = próximo a casca). Por meio da contagem dos anéis de crescimento da espécie estimou-se a idade representativa de cada posição de amostragem, sendo: 0% = 2 anos; 25% = 8 anos; 50% = 14 anos; 75% = 18 anos; 100% = 24 anos.

Figura 9 – Dimensões dos traqueídeos ao longo do raio da madeira de *C. lanceolata*. (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede celular.



Fonte: O autor (2022)

De maneira geral, nota-se que as dimensões dos traqueídeos diferem-se significativamente no sentido radial do tronco (medula-casca), excetuando-se a espessura da parede celular.

Ao analisar conjuntamente os anéis de crescimento da madeira e a morfologia dos traqueídeos da *C. lanceolata* aos 24 anos, acredita-se que a transição entre madeira juvenil e

adulta ocorra entre as posições 50 e 75% do raio, que equivale aos 14 e 18 anos da madeira. Segundo Loo *et al.* (1985), a idade para essa transição da madeira juvenil para adulta é diferente de acordo com as espécies, sendo que para o *P. taeda*, por exemplo, observou-se que a mesma ocorre entre 12 e 18 anos (PALMA, 2003), e para o *P. elliottii* entre 7 a 17 anos (PALERMO, 2013).

O comprimento médio dos traqueídeos permite classifica-los como moderadamente longos, pois situam-se no intervalo entre 1,60 e 2,20 mm, conforme classificação proposta por Metcalfe e Chalk (1983). Foelkel, Clemente e Zvinakevicius (1978) encontraram valor similar de comprimento para a espécie (2,28 mm) em idade próxima (20 anos).

Em relação a espessura da parede celular, o valor médio observado para a *C. lanceolata* (3,54  $\mu\text{m}$ ) permite classifica-la como espessa, conforme padrão indicado por Manimekalai *et al.* (2016), pois enquadra-se entre 3 e 5  $\mu\text{m}$ .

Na tabela 3 pode ser observada a comparação das dimensões médias dos traqueídeos da madeira de *C. lanceolata*, aos 24 anos de idade, com outras espécies de coníferas.

Tabela 3 – Comparação das dimensões médias dos traqueídeos da madeira de *C. lanceolata* com outras espécies de coníferas.

<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>C (mm)</b>	<b>L (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>DL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>EP (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>C. lanceolata</i> <sup>1</sup>	24	2,14	40,55	33,46	3,54
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	3,50	40,55	27,71	6,41
<i>P. elliottii</i> <sup>3</sup>	30	3,70	47,23	-	7,64
<i>C. japonica</i> <sup>4</sup>	22	2,21	30,10	19,20	5,50
<i>C. lusitanica</i> <sup>5</sup>	16	2,41	31,40	25,15	3,12

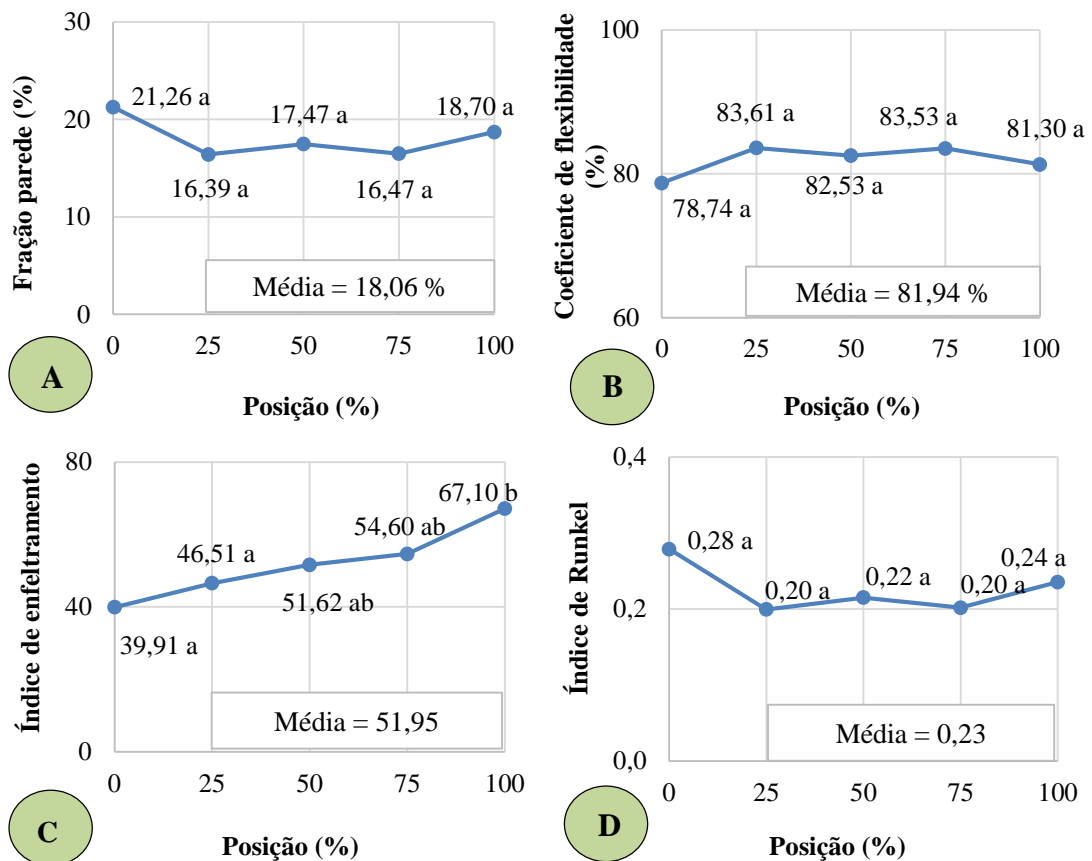
Fonte: <sup>1</sup> O autor (2022); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Muñiz (1993); <sup>4</sup> Pereira *et al.* (2003); <sup>5</sup> Vivian *et al.* (2020).  
Em que: C – comprimento; L – largura; DL – diâmetro do lúmen; EP – espessura da parede celular.

O comprimento médio de traqueídeos está próximo do que é mencionado na literatura para a espécie, assim como para as madeiras de *C. japonica* e *C. lusitanica*. Quando se comparam os valores da espécie estudada com o gênero *Pinus*, observa-se que o comprimento e a espessura da parede celular dos traqueídeos deste último são superiores, já a largura é similar.

Quando se analisa o diâmetro do lúmen dos traqueídeos para as espécies citadas, observa-se que a *C. lanceolata* possui o maior valor, com elementos relativamente mais largos, resultando em uma espessura de parede celular mais fina quando comparada as demais espécies.

Na figura 10 observa-se a variação dos parâmetros indicadores da qualidade da madeira de *C. lanceolata* no sentido radial. As dimensões e a morfologia dos traqueídeos podem demonstrar as potencialidades da madeira visando a produção de celulose e papel, a partir dos indicadores anatômicos de qualidade para a formação do papel (VIVIAN *et al.*, 2021).

Figura 10 – Indicadores anatômicos de qualidade ao longo do raio da madeira de *C. lanceolata*. (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfeltramento.



Fonte: O autor (2022).

De acordo com a figura 10, a partir da análise estatística, observa-se que o índice de enfeltramento foi o único que apresentou diferença estatística significativa no sentido radial. Segundo Vivian *et al.* (2021), a homogeneidade dos valores observados para fração parede (Figura 10A), coeficiente de flexibilidade (Figura 10B) e índice de Runkel (Figura 10D) é interessante, pois mostra que independe do local do tronco que é usado para a produção de

papel, as propriedades possivelmente se manterão constantes, algo muito positivo, pois as propriedades do papel tenderão a ser uniformes independente da porção utilizada.

Na tabela 4 observa-se a comparação dos parâmetros indicadores de qualidade da madeira para a fabricação de papel da madeira de *C. lanceolata* e outras espécies de coníferas.

Tabela 4 – Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de *C. lanceolata* com outras espécies de coníferas.

<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>FP (%)</b>	<b>CF (%)</b>	<b>IR</b>	<b>IE</b>
<i>C. lanceolata</i> <sup>1</sup>	24	18,06	81,94	0,23	51,95
<i>C. lusitanica</i> <sup>2</sup>	16	20,03	79,97	0,25	76,50
<i>P. taeda</i> <sup>3</sup>	16	29,98	70,02	0,47	93,44
<i>P. taeda</i> <sup>4</sup>	21	32,00	68,00	0,46	86,00

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2022); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2020); <sup>3</sup> Ampessan *et al.* (2015); <sup>4</sup> Vivian *et al.* (2015).  
Em que: FP – fração da parede; CF – coeficiente de flexibilidade; IR – índice de Runkel; IE – índice de enfieltramento.

A fração parede dos traqueídeos da madeira de *C. lanceolata* (18,06%) permite enquadrá-la como delgada, por possuir valor <20%, conforme classificação proposta por Klock e Andrade (2013), o que resultará em uma baixa rigidez para os traqueídeos. Segundo Watson e Dadswell (1961 *apud* NISGOSKI 2005), as interligações dos traqueídeos são melhores quando a fração parede dos traqueídeos são menores, resultando em maior resistência do papel a tração e ao estouro, sendo uma vantagem para a madeira de *C. lanceolata* para produção de papel.

De acordo com Shimoyama e Wiecheteck (1993), o ideal é que a fração parede seja menor que 40%, pois as fibras/traqueídeos colapsariam com maior facilidade, proporcionando maior resistência ao papel, o que é uma vantagem competitiva da madeira de *C. lanceolata* em relação aos demais utilizadas para comparação.

Ainda conforme Shimoyama e Wiecheteck (1993), quando se trata do coeficiente de flexibilidade, este indica o grau de achatamento dos traqueídeos durante o processo de produção de polpa celulósica. De acordo com Foelkel e Barrichelo (1975), quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, maior será a resistência à ruptura do papel, pois haverá maior ligação entre as fibras/traqueídeos. O coeficiente de flexibilidade observado para a madeira de *C. lanceolata* (81,94%) foi superior ao de todas as espécies citadas na comparação, estando acima de 75%, valor este citado por Nisgoski (2005) como sendo ideal, pois proporcionará boa superfície de contato e união entre os traqueídeos, que entrarão em colapso com facilidade durante a formação do papel.



Em relação ao índice de Runkel, o valor médio observado foi de 0,23. Conforme a classificação proposta por Runkel, e citada por Nisgoski (2005) e Vasconcelos (2005), a madeira da espécie em questão se enquadra no grupo I (valor <0,25), sendo considerada como excelente para fabricação de papel. Comparando com as demais espécies, apenas a madeira de *C. lusitanica* apresenta valor semelhante, já as espécies de *Pinus* apresentam valores mais elevados. Vale destacar que para o índice de Runkel, quanto menor o valor melhor para produção de papel, pois maior será o grau de colapso entre os elementos celulares, originando papéis com maior resistência a tração e estouro (AMPESSAN, 2015).

Por fim, o índice de enfieltramento é a relação entre o comprimento e a largura da fibra/traqueídeo, sendo que quanto maior for os valores, maior será a flexibilidade dos elementos celulares, resultando em papéis com melhores propriedades. De acordo com Nisgoski (2005), é interessante que os valores de índice de enfieltramento sejam acima de 50, pois dará origem a papéis com boa resistência ao rasgo e arrebatamento. Desta forma, mesmo que o valor médio obtido para a madeira de *C. lanceolata* (51,95) seja menor em comparação as demais espécies (Tabela 4), está acima do mínimo sugerido para a produção de papel.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos para a madeira de *C. lanceolata* aos 24 anos de idade, é possível concluir que a mesma apresenta:

- densidade básica leve ou baixa, sem diferença estatística significativa ao longo do fuste;
- teores de cinzas e extrativos dentro da faixa observada para coníferas, contudo com elevado teor de lignina e baixo teor de holocelulose;
- traqueídeos moderadamente longos e largos, de parede celular espessa, sem variação significativa na espessura da parede celular no sentido radial (medula-casca);
- excelentes indicadores anatômicos para fabricação de papel, como índice de Runkel, fração parede e coeficiente de flexibilidade, e bom para o índice de enfiamento;

Conclui-se que a mesma apresenta potencial para uso no Brasil, especialmente para produção de polpa celulósica de fibra longa. Vale enfatizar que a espécie avaliada não conta com melhoramento genético, deixando em aberto a possibilidade de avanços em suas propriedades por meio de seleção e programas de melhoramento florestal.

Sugere-se que novos estudos sejam realizados, avaliando especialmente a madeira frente ao processo de polpação, com simulações de níveis de álcali em curvas de cozimento, bem como a condução de ensaios com a fabricação de papel, para avaliação das propriedades físicas, mecânicas e visuais do mesmo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. C. F.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D. Avaliação da qualidade da colagem de topo da madeira de *Cupressus lusitânica* Mill. para a produção de painéis colados lateralmente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p 9-19, 2017. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr113/cap01.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.
- ALVES, I. C. N. *et al.* Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* para Produção de Celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 1, p.167-174, 2011.
- ALVES, I. C. N. **Potencial da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage visando à produção de celulose kraft**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- AMPESSAN, C. G. M. **Idade da madeira na qualidade de polpa e do papel**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.
- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em Pinus taeda L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR- 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização Física e Química da Madeira de Pinus elliottii**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.
- BARBOSA, L. C.; MALTHA, C.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciência & Engenharia**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, v. 2, n. 15, p. 13-20, 2005.
- BARRICHELO, L. E.; BRITO, J. O. **A utilização da madeira na produção de celulose**. Local: Editora, 1979. (Circular Técnica, 68)
- CARDOSO, G. V. *et al.* Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. *In*: Congresso Anual de Celulose e Papel, 34., 2001, São Paulo, SP. **Anais [...]** São Paulo: ABTCP, 2001.
- CÉSAR, A. *et al.* Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017.
- CHUNG, J. D. *et al.* Genetic variation and Tree Improvement of Konishii fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook. var. *konishii*). **Silvae Genetica**, Taiwan, v. 60, n. 5, p. 196-205, 2011.
- CLEMENTE, V. M.; VALENTE, O. F. Estudo das características da celulose kraft de *Cunninghamia lanceolata* Lamb. **Revista Árvore**, Viçosa v. 2, n. 1, p. 34, 1978.

- COELHO, U. M. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft.** 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) –Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da Madeira para a Produção de Celulose e Papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.
- DOBNER JR, M. *et al.* Aspectos dendrométricos e silviculturais de um povoamento de *Cunninghamia lanceolata* no sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 47, n.1, p. 7-8, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA). **Clima no estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA/ CNPF, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA–EMBRAPA). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1988.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft.** 2012. Tese (Doutorado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) – Programa de Pós-Graduação em Doutorado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- FOCKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade na madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, Guaíba, v. 53, n. 5, p. 35-40, 1992.
- FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v. 36, n. 9, p. 49- 53, 1975.
- FOELKEL, C. E. B.; CLEMENTE, V. M.; ZVINAKEVICIUS, C. **Coníferas exóticas aptas para a produção de celulose kraft: *Cunninghamia lanceolata*.** 1978. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/Con%EDferas%20ex%F3ticas%20-%20Cunninghamia%20lanceolata.pdf> . Acesso em: 3 abr. 2019.
- FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017.
- FREDDO, A. *et al.* Elementos minerais em madeiras de Eucaliptos e Acácia Negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 193-209. 1999.
- FREITAG, C.; MORREL, J. J. Decay resistance of China-fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lambert) Hooker). **Forest Products Journal**, China, v. 56, n. 5, p. 29-30, 2006.

FUNG, L. E. Wood properties of new zealand-grown *Cunninghamia lanceolata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, New Zealand, v. 23, n. 3, p. 324-338, 1993.

GUO, J. *et al.* Influences of provenance and rotation age on heartwood ratio, stem diameter and radial variation in tracheid dimension of *Cunninghamia lanceolata*. **European Journal of Wood and Wood Products**, EUR, v. 76, n. 2, p. 669-677, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES–IBÁ. **Conservação**. São Paulo: IBÁ, 2021. Disponível em: <https://iba.org/arvores-plantadas>. Acesso em: 24 nov. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES –IBÁ. **Relatório anual IBÁ 2021 ano base 2020**. São Paulo: IBÁ, 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Celulose**. 2015.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS – IBF – **Reflorestamento de *Pinus*: vantagens e desvantagens**. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/madeira-comum>. Acesso em: 10 mar. 2022.

JOKER, D. **Seed leaflet: *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook**. 2000. Disponível em: [file:///C:/Users/alexi/Downloads/Cunninghamia%20lanceolata\\_int.pdf](file:///C:/Users/alexi/Downloads/Cunninghamia%20lanceolata_int.pdf). Acesso em: 8 abr. 2019.

KLOCK, U. *et al.* **Química da madeira**. 3. ed. rev. Curitiba: UFPR, 2005.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Polpa e papel: propriedades do papel**. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2013. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/papelpropriedades2013.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2021.

LI, M. H.; RITCHIE, G. A. Eight hundred years of clonal forestry in China: I. tradicional afforestation with Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lambert) Hook.). **New Forests**, China, v. 18, n. 2, p. 131-142, 1999.

LOO, J. A.; TAUER, C. C.; McNEW, R. N. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Silvae Genet**, Oklahoma, n. 34, p. 14-19, 1985.

LOPES, G. L. *Cunninghamia lanceolata* (**Lamb.**) Hook. **Pinheiro-chinês**. 2014. Disponível em: <https://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/11721-2/>. Acesso em: 8 abr. 2019

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

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

MARCHIORI, J.N.C. **Dendrocronologia das Gimnospermas**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, 2005.

MATTOS, B. D. *et al.* Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction**. 2.ed. Oxford: Clarendon Press, 1983.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

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

PALERMO, G. P. M. *et al.* Delimitação entre os lenhos juvenil e adultos de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Curitiba, v. 37, p. 191-200, 2013.

PALERMO, G. P. *et al.* Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p.1-6, 2004.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, W. A. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 13-22, 2003.

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

QUEIROZ, S. C. S; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. de. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da Polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake1. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

SANSÍGOLO, C. A; BARREIROS, R. M. **Qualidade madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft**. In: III Congresso Iberoamericano em Celulosa y Papel 2004, Cordoba-Espanha, 2004

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

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. 27p. 63-80, 1993.

SILVA JÚNIOR, F. G. **Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides***. 2005. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **T204 cm-97**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI **T211 om-02**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta: TAPPI Press, 2002.

THE GYMNOSPERM DATABASE. *Cunninghamia lanceolata*. 2019. Disponível em: <https://www.conifers.org/cu/Cunninghamia.php>. Acesso em: 9 abr. 2019.

TRIANOSKI, R. *et al.* Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 57-64, 2013.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda***. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

VIDAURRE, G. B. *et al.* Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2012.

VIVIAN, M. A. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Cupressus lusitanica* visando à produção de polpa celulósica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 40, p. 1-9, 2020.

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.

VIVIAN, M. A. *et al.* Características da madeira de *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 49, n. 131, p. 1-13, 2021.

WEN, H. *et al.* *Cunninghamia lanceolata* variant with red-heart wood: a mini-review. **Dendrobiology**, Poland, v. 79, p. 156-167, 2018. Disponível em: <http://www.idpan.poznan.pl/content-dendrobiology/v79/2026-79-156-167>. Acesso em: 05 nov. 2021

XIANGQING, M. *et al.* Biomass, litterfall and the nutrient fluxes in Chinese fir stands of different age in subtropical China. **Journal of Forestry Research**, China, v. 13, n. 3, p. 165-170, 2002.

ZHENG, H. *et al.* Assessing 62 Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) breeding parents in a 12-year grafted clone test. **Forests**, Basileia, v. 6, n. 10, p. 3799-3808, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/10/3799>. Acesso em: 05 nov. 2021.



## ANEXO A – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS E LIGNINA DA MADEIRA

### Extrativos Totais

1. Pesar o equivalente a 1g absolutamente seco (a.s.) de serragem e transferir para saquinho de papel filtro;
2. Colocar a amostra no corpo do extrator;
3. Fazer a extração com álcool:tolueno (1:2) e álcool 96 ° GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração;
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição;
5. Transferir toda a serragem do saquinho para erlenmeyer de 250 mL;
6. Adicionar 100 mL de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria (que já deverá estar fervendo) e cobri-lo;
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos;
8. Após uma hora filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho;
9. Lavar o cadinho com 250 mL de água quente;
10. Levar o cadinho à estufa a  $103 \pm 2$  °C até peso constante;
11. Pesar o cadinho seco;
12. Calcular o teor de “Extrativos Totais” através da fórmula:

$$E.T. (\%) = (1 - \text{massa a.s. serragem}) \times 100$$

Em que: Massa a.s. serragem: massa de serragem seca já descontando a tara do cadinho, em g.

### Lignina

13. Pesar 300 mg da serragem livre de extrativos seca e transferir para erlenmeyer de 250 mL;
14. Adicionar 3 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % resfriado a 10 – 12 °C;
15. Manter em banho-maria a  $30 \pm 2$  °C durante 1 hora, misturando frequentemente com auxílio de bastonete;
16. Retirar do banho-maria e adicionar 84 mL de água destilada quente, transformando o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 %;

17. Colocar o erlenmeyer em autoclave, devidamente vedado com papel alumínio, a 118 °C (27 psi) durante 60 minutos;
18. Filtrar através de cadinho sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho;
19. Lavar com 700 mL de água quente;
20. Levar o cadinho à estufa a 103 ± 2 °C até peso constante;
21. Pesar o cadinho seco;
22. Calcular o teor de lignina residual (L.R.) através da fórmula:

$$\text{L.R.(\%)} = \left[ \frac{\text{massa a.s final}}{0,30 \left( 1 - \frac{\text{E.T.}}{100} \right)} \right] \times 100$$

Em que: Massa a.s. final: massa de lignina seca já descontando a tara do cadinho, em g.

23. Transferir o filtrado obtido nos itens 18 e 19 para balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água destilada;
24. Preparar prova em branco, diluindo 3 mL de ácido sulfúrico 72 % para 1000 mL;
25. Utilizando cubeta de quartzo e a prova em branco, ajustar o espectrofotômetro em 0 de absorvância no comprimento de onda 215 nm e 280 nm;
26. Prosseguir com a leitura dos filtrados;
27. Calcular os teores de lignina solúvel (L.S.) e lignina total (L.T.) através das fórmulas:

$$\text{L.R.(\%)} = \left[ \frac{4,53 \times L_{215} - L_{280}}{300 \times \left( \frac{0,3}{1 - \frac{\text{E.T.}}{100}} \right)} \right] \times 100 \qquad \text{L.T.(\%)} = \text{L.R.(\%)} + \text{L.S.(\%)}$$