

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

RONAN CORRÊA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA MADEIRA DE
Cupressus lusitanica Mill. PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**

Curitibanos

2016

RONAN CORRÊA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA MADEIRA DE
Cupressus lusitanica Mill. PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**

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
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Karina Soares Modes

Curitibanos

2016

Corrêa, Ronan

Caracterização química e morfológica da madeira de
Cupressus lusitanica Mill. para produção de polpa celulósica
/ Ronan Corrêa ; orientador, Magnos Alan Vivian ;
coorientador, Karina Soares Modes. - Curitiba, SC, 2016.
47 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Florestal. 2. Madeira de fibra longa. 3.
Celulose e papel. 4. Caracterização tecnológica. 5. Anatomia
da madeira. I. Vivian, Magnos Alan. II. Modes, Karina
Soares. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Coordenação do Curso de Engenharia Florestal
Rodovia Ulysses Gabeaudi km 3
CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC
TELEFONE: (048) 3721-4170 E-mail: engenharia.florestal@contato.ufsc.br

RONAN CORRÊA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA MADEIRA DE *Cupressus lusitânica* Mill. PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

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.

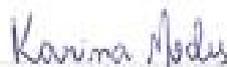
Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Data da Defesa: 06/12/2016

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



Presidente e Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário de Curitibanos



Membro Titular: Prof. Dra. Karina Soares Modes
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário de Curitibanos



Membro Titular: Prof. Dr. Mário Dobner Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário de Curitibanos

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitibanos
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

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

À minha família, especialmente aos meus pais Hamilton e Maria Rosane, minha irmã Vânia e meu irmão Jota, pelo apoio, confiança, carinho e incentivo durante toda a graduação.

A Melina, pelo companheirismo, compreensão e paciência em todos os momentos.

Aos meus orientadores, Magno Alan Vivian e Karina Soares Modes pela ajuda e ensinamentos proporcionados durante toda a elaboração do trabalho.

À UFSM, principalmente a professora Cristiane Pedrazzi, que permitiu que eu realizasse as análises químicas do meu trabalho.

Aos meus amigos do LAQUIM, pela ajuda nas análises, amizade e companheirismo durante minha estadia em Santa Maria/RS.

A graduanda Ana Paula Caetano, pela ajuda nas análises morfológicas.

Aos amigos e professores que me ajudaram de alguma maneira durante todo o período de graduação.

Muito obrigado!

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar as características químicas e morfológicas da madeira de *Cupressus lusitanica* visando a produção de polpa celulósica, bem como relacionar as dimensões anatômicas e parâmetros que indiquem a qualidade da polpa no sentido medula-casca, e comparar os resultados com as espécies de coníferas mais utilizadas na fabricação de polpa celulósica de fibra longa no Brasil. Para condução do estudo foram utilizadas 3 árvores, com 16 anos de idade, provenientes de um plantio experimental, localizado no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina. De cada árvore realizou-se cortes transversais à altura do peito (DAP) que foram empregados na caracterização química e morfológica da madeira. Primeiramente procedeu-se a caracterização química, no qual o material lenhoso foi transformado em serragem para determinação dos teores de cinzas, extrativos totais, lignina e holocelulose. Para caracterização morfológica, foram confeccionadas baguetas centrais dos discos, em seguida marcaram-se os anéis de crescimento 4, 7, 10, 13 e 16; os quais foram transformados em palitos para realização do processo de maceração e montagem de lâminas a fim de se obter informações de comprimento (mm), largura (μm) e diâmetro do lúmen (μm) dos traqueídeos. Após obtenção das informações das dimensões, calculou-se a espessura da parede (μm), bem como os indicadores de qualidade da polpa: fração da parede (%), coeficiente de flexibilidade (%), índice de Runkel e índice de enfeltramento. Os resultados obtidos para composição química da madeira de *C. lusitanica* indicaram baixos teores de cinzas e extrativos (0,27 e 2,13%), porém alto teor de lignina (32,52%), valor superior aos encontrados na literatura para as espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, e teor de holocelulose (65,08%) inferior quando comparado com as mesmas espécies. Para caracterização morfológica, as dimensões anatômicas observadas para os traqueídeos foram de 2,41 mm de comprimento; 31,40 μm de largura; 25,15 μm de diâmetro do lúmen e 3,12 μm de espessura de parede, as quais foram inferiores quando comparadas com as coníferas mais utilizadas para polpação no Brasil. O comportamento dos traqueídeos em relação aos anéis de crescimento mostrou que com o passar dos anos ocorreu um aumento nas dimensões, entretanto, apenas para comprimento houve diferença significativa entre os anéis. Apesar das dimensões dos traqueídeos serem menores que o registrado para a madeira das espécies de *P. taeda* e *P. elliottii*, os índices de qualidade de polpa para *C. lusitanica* foram superiores em quase todos os parâmetros quando comparados com as mesmas espécies, indicando que a madeira é uma ótima alternativa para produção de papel, com exceção do elevado teor de lignina registrado. De maneira geral, a madeira de *C. lusitanica* apresenta boas características tecnológicas para produção de celulose e papel, em especial pelos índices morfológicos de qualidade observados, bem como baixos teores de extrativos e cinzas.

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

ABSTRACT

The present study had the objective of evaluating the chemical and morphological characteristics of *Cupressus lusitanica* wood for the production of cellulosic pulp, as well as to relate the anatomical dimensions and parameters that indicate the pulp quality in the meaning of marrow-bark, and to compare the results with conifer species most used in the manufacture of pulp cellulosic of long fiber in Brazil. For the study, 3 trees, 16 years old, were used from an experimental planting, located in Campo Belo do Sul, Santa Catarina. From each tree was performed cross cutting the diameter at breast height (DBH) were used in the chemical and morphological characterization of the wood. Firstly, the chemical characterization was provided, in which the woody material was transformed into sawdust to determine the ash, total extractive, lignin and holocellulose contents. For morphological characterization, the central baguettes of the discs were made, then the growth rings 4, 7, 10, 13 and 16 were marked; of which were transformed in picks for the accomplishment of slat maceration and montage in order to obtain length (mm), width (μm) and diameter of the lumen (μm) of the tracheids. After obtaining the information of the dimensions, the wall thickness (μm), as well as the quality indicators of the pulp: wall fraction (%), coefficient of flexibility (%), Runkel index and index of enflementing were calculated. The results obtained for the chemical composition of *C. lusitanica* wood indicated low ash and extractive contents (0.27 and 2.13%), but high lignin content (32.52%), higher than those found in the literature for *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* species, and lower holocellulose content (65.08%) when compared to the same species. For morphological characterization, the anatomical dimensions observed for tracheids were 2.41 mm in length; 31.40 μm wide; 25.15 μm lumen diameter and 3.12 μm wall thickness, which were lower when compared to the conifers most used for pulping in Brazil. The behavior of the tracheids in relation to the growth rings showed that with the passage of the years an increase in the dimensions occurred, however, only for length there was a significant difference between the rings. Although the tracheid dimensions registered for the wood of the *P. taeda* and *P. elliottii* species, the pulp quality indexes for *C. lusitanica* were superior in almost all parameters when compared to the same species, indicating that wood is a great alternative for paper production, with the exception of the high registered lignin content. In general, *C. lusitanica* wood presents good technological characteristics for the production of pulp and paper, especially for the morphological indexes of quality observed, as well as low extractive and ash contents.

Key-words: long fiber wood; cellulose and paper; technological characterization; wood anatomy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do município de Campo Belo do Sul, SC.....	21
Figura 2 - Etapas de amostragem: (A) Disco demarcado para corte das cunhas; (B) Palitos confeccionados a partir das cunhas; (C) Moinho do tipo Willey; (D) Peneiras acopladas a um agitador.	22
Figura 3 - Mufla utilizada para incineração das amostras.....	24
Figura 4 - Equipamento de Soxhlet para determinação de extrativos.....	25
Figura 5 - Bomba de vácuo acoplada a kitassatos utilizados para lavagem e filtração dos materiais.	25
Figura 6 - Sequência de etapas para obtenção de lignina: (A) Ácido + amostra em banho-maria 20°C; (B) Ácido + amostra com acréscimo de água em banho-maria 90°C; (C) Cadinhos filtrantes com amostra de lignina.	27
Figura 7 - Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Discos com marcações dos anéis; (B) Baguetas, sentido medula-casca; (C) Palitos.....	29
Figura 8 - Amostras após processo de lavagem.	29
Figura 9 - Imagens dos traqueídeos em diferentes aumentos. (A) Aumento de 6,3x; (B) Aumento de 400x.	30
Figura 10 - (A) Lupa Leica; (B) Microscópio Leica.	30
Figura 11 - Dimensões dos traqueídeos. (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede.	36
Figura 12 - Parâmetros de qualidade de polpa em relação aos anéis de crescimento. (A) Índice de Runkel; (B) Índice de enfeitramento; (C) Fração parede (%); (D) Coeficiente de flexibilidade (%).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química média das madeiras de coníferas.	16
Tabela 2 - Caracterização química da madeira <i>C. lusitanica</i>	32
Tabela 3 - Comparação da composição química de <i>C. lusitanica</i> com duas espécies do gênero <i>Pinus</i>	33
Tabela 4 - Dimensões médias dos traqueídeos da madeira <i>C. lusitanica</i>	34
Tabela 5 - Comparação das dimensões dos traqueídeos de <i>C. lusitanica</i> com duas espécies do gênero <i>Pinus</i>	35
Tabela 6 - Comparação dos índices de qualidade.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 <i>Cupressus lusitanica</i> MILL.	15
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE CONÍFERAS	16
3.2.1 Holocelulose	16
3.2.2 Lignina	17
3.2.3 Extrativos	18
3.2.4 Cinzas	18
3.3 ANATOMIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS E SUA INFLUÊNCIA NA POLPAÇÃO	18
3.3.1 Dimensões dos traqueídeos	19
3.3.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL	21
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	22
4.2.1 Amostragem e preparo das amostras para as análises químicas	22
4.2.2 Determinação do teor de umidade	23
4.2.3 Determinação do teor de cinzas	23
4.2.4 Determinação do teor de extrativos totais	24
4.2.5 Determinação do teor de lignina Klason	26
4.2.6 Determinação teor de holocelulose	28
4.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS	28
4.3.1 Amostragem e preparo das amostras para análises morfológicas	28
4.3.2 Processo de maceração	29
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>C. lusitanica</i>	32

5.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE <i>C. lusitânica</i>	34
5.2.1 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica	38
6 CONCLUSÕES.....	41
7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro vem contribuindo de forma expressiva para economia do país, o qual gerou um Produto Interno Bruto Setorial de R\$ 69,1 bilhões em 2015, 3% superior ao ano anterior. Atualmente o país conta com 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 34% são destinados ao segmento de celulose e papel, o que demonstra sua importância (IBÁ, 2016).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2016), no ano de 2015 o Brasil produziu 17,4 milhões de toneladas de celulose, considerando processos químicos e pasta de alto rendimento, um aumento 5,5% em relação ao ano de 2014, consolidando o país como quarto maior produtor mundial de celulose. Já em relação a produção de papel, o Brasil totalizou 10,4 milhões de toneladas, diminuindo a produção em 0,4% em comparação ao ano anterior, motivado pela retração das vendas domésticas.

Entre todos os processos para obtenção de polpa celulósica, o mais difundido no mundo é o Kraft, que é um processo químico que apresenta inúmeras vantagens, como polpa de alta resistência e principalmente possibilidade de reutilização dos reagentes empregados no processo (FRINHANI; DALTOÉ, 2012).

O principal objetivo dos processos químicos é a separação da lignina dos carboidratos (celulose e hemicelulose). Para que isso ocorra é preparado um licor de cozimento, no qual estão presentes reagentes que agem na dissolução da lignina, como por exemplo no processo Kraft que emprega o hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) para tal reação (FAVERO et al., 2014). Desta forma a composição química estabelece parâmetros do processo de polpação, como o uso de reagentes, quantidade de resíduos sólidos gerados no licor negro e rendimento de celulose (COSTA, 2011). Já a morfologia dos traqueídeos influencia diretamente nas características da polpa celulósica e do papel, sendo que folhas de papel constituídas com traqueídeos com dimensões diferentes proporcionam propriedades físicas e de resistência distintas (ANDRADE, 2006).

As espécies do gênero *Pinus* são as principais coníferas utilizadas no mundo para fabricação celulose de fibra longa, apresentando madeira com boas características tecnológicas para este fim. No Brasil a espécie de *Pinus* que se destaca para produção de celulose é o *P. taeda* L., sendo a principal fonte de fibra longa, apresentando traqueídeos de 3 a 6 mm de comprimento, característica que confere maior resistência aos papéis e embalagens (GOMES, 2009).

No entanto, estudos estão sendo realizados com a finalidade de inserção de novas espécies no mercado papelero, para serem alternativas tanto para o segmento de fibra curta quanto de fibra longa. A espécie florestal *C. lusitanica* vem se destacando no sul do Brasil, por apresentar um rápido crescimento, bom desenvolvimento e baixa exigência em solos (SHIMIZU et al., 2011). Entretanto, ainda não se tem conhecimento aprofundado sobre as reais utilizações da espécie. Desta forma, se faz necessário mais pesquisas e estudos sobre as propriedades dessa espécie promissora, para então determinar seus usos mais adequados.

De tal modo, é fundamental a realização de estudos que visem a adequada caracterização química e morfológica da madeira de espécies não convencionais, as quais afetam diretamente a qualidade do produto final.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as características químicas e morfológicas da madeira de *Cupressus lusitanica* visando a produção de polpa celulósica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quimicamente a madeira de *C. lusitanica*;
- Caracterizar a variação da morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. lusitanica* no sentido medula-casca;
- Relacionar a morfologia dos traqueídeos com os índices de qualidade de polpa celulósica e com os anéis de crescimento;
- Comparar as características encontradas para a madeira de *C. lusitanica* com as principais espécies de coníferas utilizadas para produção de polpa celulósica de fibra longa no Brasil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Cupressus lusitanica* MILL.

A espécie *Cupressus lusitanica* Mill., também conhecida como cedrinho, pinheirinho, cipreste, cedro-do-buçaco, cedro-de-goá, entre outras denominações, pertence à ordem Pinales e família Cupressaceae. É uma planta monóica, perenifólia, resinosa e aromática que pode atingir mais de 30 metros de altura (XAVIER et al., 2012; SHIMIZU; PINTO JÚNIOR; RIBASKI, 1995).

Acredita-se que *C. lusitanica* tenha sido derivada de uma dessas espécies do gênero *Cupressus*, o *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. ou *Cupressus benthamii* Endl., oriundas do México e Guatemala (CARPANEZZI et al., 1988). Entretanto, por volta do século XV, levou-se um híbrido mexicano da espécie para Portugal, onde a planta se adaptou muito bem as condições edafoclimáticas do local o que originou o nome da espécie (PEREIRA; HIGA, 2003).

Como características relevantes, a espécie apresenta rápido crescimento, chegando a 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, madeira com densidade de 0,44 g.cm⁻³ e fácil adaptação a solos rasos e áreas de encosta (SHIMIZU et al., 2011). Ocorre em regiões montanhosas com altitudes de até 3.000 metros, com chuvas estacionais e inverno seco (PEREIRA; HIGA, 2003). As áreas mais adequadas para o cultivo dessa conífera no Brasil ficam limitadas as regiões Sul e Sudeste, por apresentarem condições climáticas e de relevo favoráveis à espécie (SHIMIZU et al., 2006).

Apesar de ser restrita a determinados locais, a espécie encontra-se amplamente distribuída ao redor do mundo. Os primeiros plantios comerciais de grande escala aqui no Brasil, foram implantados no sul de Minas Gerais, e as sementes eram coletadas das poucas árvores que já existiam, mas devido à base genética restrita, as plantas não alcançavam os rendimentos esperados, apresentando baixa produtividade e má qualidade da madeira (SHIMIZU; PINTO JÚNIOR; RIBASKI, 1995).

São várias as aplicações da espécie aqui no Brasil, sendo bastante utilizada como cerca viva e quebra-vento, porém, os poucos estudos sobre *Cupressus* apontam a qualidade e potencial da espécie para utilizações mais sofisticadas, como: movelaria, serraria, produção de papel e celulose, entre outros usos (XAVIER et al., 2012; SHIMIZU et al., 2011).

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE CONÍFERAS

O conhecimento da composição química da madeira é o primeiro passo para a escolha da melhor espécie a ser utilizada no processo de polpação, determinando qual será a melhor condição para o cozimento. As análises químicas poderiam ser consideradas como caracterização básica da madeira, compreendendo um mínimo necessário de informações para um conhecimento preliminar de qualidade da madeira (GOMIDE et al, 2010), principalmente para coníferas, que em geral apresentam maior quantidade de lignina e extrativos em relação as folhosas (IPT, 1998).

Em relação a composição química elementar da madeira, esta é constituída basicamente de Carbono (entre 49 a 50%), Oxigênio (entre 44 a 45%), Hidrogênio (em torno de 6%) e Nitrogênio (entre 0,1 e 1%), valores que não se alteram muito em função da espécie (SANTOS, 2008).

Os componentes químicos presentes na madeira são a celulose, hemicelulose (polioses) e lignina que são chamados de compostos fundamentais ou macromoleculares, e os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas) que são os ditos acidentais ou minoritários (KLOCK et al., 2005). Os componentes variam entre as espécies e são influenciados por diversos fatores. A Tabela 1 apresenta a composição química média das madeiras de coníferas.

Tabela 1 - Composição química média das madeiras de coníferas.

Constituintes	Coníferas
Celulose	42 ± 2%
Polioses	27 ± 2%
Lignina	28 ± 2%
Extrativos	5 ± 3%

Fonte: KLOCK et al. (2005)

3.2.1 Holocelulose

A holocelulose compreende o conteúdo total de polissacarídeos presentes na madeira, assim representados pela celulose e hemicelulose (ANDRADE, 2006).

A celulose é o componente mais comum e abundante, correspondendo a aproximadamente metade da constituição da madeira. É um polímero linear de massa molecular elevada, constituído exclusivamente de unidades β -D-glucose, sendo o principal componente

da parede celular dos vegetais (ANDRADE, 2006). O componente está localizado principalmente na parede secundária das células vegetais (KLOCK et al., 2005).

As hemiceluloses, também denominadas de polioses, estão diretamente associadas à celulose na parede celular, porém tem um baixo grau de polimerização quando comparadas a celulose (ANDRADE, 2006).

Os principais constituintes da hemicelulose são cinco açúcares, sendo três hexoses (glucose, manose e galactose), e duas pentoses (xilose e arabinose). Sendo que algumas polioses também podem conter ácidos urônicos (KLOCK et al., 2005). Segundo Balloni (2009) as hemiceluloses compõem entre 20 a 35 % da massa seca da madeira.

A holocelulose é o principal constituinte que se almeja no processo de polpação, pois contribui para um maior rendimento e qualidade da polpa, além de apresentar efeitos benéficos na ligação interfibras e na resistência da polpa celulósica. Desta forma, os processos de obtenção de polpa celulósicas procuram remover o mínimo possível de polissacarídeos (GOMES, 2007).

3.2.2 Lignina

A lignina, também conhecida como lenhina, é uma substância complexa, constituída de unidades básicas de p-hidroxifenilpropano, guaiacilpropano e siringilpropano, está localizada principalmente lamela média e nas subcamadas da parede secundária (BALLONI, 2009).

Foi descoberta pelo francês Anselme Payen em 1838 após tratamento da madeira com ácido sulfúrico concentrado, compreende cerca de 15 a 35% da madeira, ocorrendo na maioria das plantas, mas sua composição difere entre espécies (KLOCK et al., 2005).

A substância é responsável pela resistência mecânica, pelo transporte de água, nutrientes e metabólitos nas plantas vasculares, sendo importante além disso na proteção contra o ataque de microrganismos (SANTOS, 2008).

É impossível ser totalmente retirada da madeira sem que ocorra uma considerável degradação de outros componentes (KLOCK et al., 2005). A lignina é obtida em grande escala por ser um subproduto das indústrias de polpação, sendo utilizada com fonte de energia, pela queima em caldeiras de recuperação (SANTOS, 2008).

3.2.3 Extrativos

Os extrativos ou também chamados de componentes acidentais abrangem um grande número de componentes, estes podem ser extraídos das madeiras por meio de solventes orgânicos (BALLONI, 2009). Os componentes acidentais são comumente responsáveis pelo odor, cor, gosto e durabilidade natural da madeira (SANTOS, 2008).

Em madeira de coníferas o teor de extrativos encontra-se na faixa de $5 \pm 3\%$, mas sua composição e quantidade vão depender de diversos fatores como: espécie, idade e localização na árvore. Os extrativos ocorrem na casca, folhas e acículas, flores, frutos e sementes, e quase sempre as quantidades nessas partes da árvore são proporcionalmente maiores que na madeira (KLOCK et al., 2005).

Teores muito elevados de extrativos na madeira são prejudiciais no processo de produção de polpa celulósica, pois consomem parte dos reagentes utilizados na deslignificação (ANDRADE, 2006).

3.2.4 Cinzas

As substâncias inorgânicas da madeira, também denominadas cinzas, correspondem aos componentes minerais encontrados na planta, havendo uma grande variação na quantidade destes componentes entre espécies e no próprio indivíduo (ANDRADE, 2006). Segundo Klock e Andrade (2013) os principais componentes minerais encontrados na madeira são: potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

O conteúdo de cinzas presente na madeira raramente é inferior a 0,2% e superior a 1% da massa seca (SILVA, 2010 apud TSOUMIS, 1991).

3.3 ANATOMIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS E SUA INFLUÊNCIA NA POLPAÇÃO

O principal objetivo da caracterização anatômica é verificar os atributos estruturais da madeira e relacionar com um determinado uso (MIRANDA; CASTELO, 2012). Um exemplo é a morfologia e as dimensões dos traqueídeos que possuem uma forte influência na qualidade da polpa celulósica (MENEGAZZO, 2012).

Espécies de coníferas são caracterizadas por apresentarem madeira com uma estrutura anatômica bastante simples, havendo basicamente dois tipos de células: traqueídeos axiais que constituem de 90 a 95% da madeira e células de raio, que correspondem de 5 a 10% da madeira

(ANDRADE, 2006). Além destes tipos de células, algumas espécies podem apresentar traqueídeos radiais, parênquima axial e canais resiníferos. Apesar de estrutura anatômica simples, espécies de coníferas apresentam características anatômicas bem marcantes e visíveis a olho nu como, lenho inicial e lenho tardio, madeira juvenil e madeira adulta (MENEGAZZO, 2012).

3.3.1 Dimensões dos traqueídeos

As dimensões dos elementos xilêmicos exercem um efeito expressivo nas propriedades anatômicas da madeira, interferindo diretamente nas suas qualidades. São vários os fatores que podem influenciar nas dimensões dos elementos celulares, como: idade, características genéticas e fatores climáticos (MARANHO et al., 2006).

Os traqueídeos são células alongadas, fusiformes, com as extremidades afinadas e com pontuações que são responsáveis pela passagem de líquidos entre as células. Suas funções são o transporte de líquidos e sustentação da estrutura lenhosa (ANDRADE, 2006). Vários estudos mostram que essas células possuem dimensões que variam entre 2,50 e 3,80 mm de comprimento e 20 a 70 μm de largura (MENEGAZZO, 2012). Entretanto, encontra-se na literatura valores superiores a este citado.

Quando se realizam estudos visando a produção de celulose as características anatômicas tais como, comprimento, largura, diâmetro de lúmen e espessura da parede celular dos traqueídeos/fibras são de suma importância, pois, conhecendo essas dimensões pode-se correlacionar com as propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica e papel (COSTA, 2011).

O comprimento dos traqueídeos tem função muito importante no que se diz a respeito as propriedades dos papéis, pois afeta a resistência ao rasgo e resistência a dobras (DIAS; SIMONELLI, 2013). Os traqueídeos de coníferas são maiores que as fibras de folhosas, desta forma, conferem maior resistência a polpa produzida (SANTOS, 2005).

A largura é outra característica de grande valia nas propriedades do papel, traqueídeos com larguras maiores têm maior potencial de colapso e facilidade de refino, além de proporcionar maior área de contato entre os traqueídeos na formação do papel, acarretando numa maior resistência da folha produzida (PEDRAZZI et al., 2013).

A espessura da parede tem relação com a flexibilidade do traqueídeo, paredes mais finas aumentam a capacidade de colapsamento dos traqueídeos, ou seja, proporcionam maior

flexibilidade, porém, a resistência mecânica diminui com paredes pouco espessas (MENEGAZZO, 2012).

O diâmetro do lúmen está diretamente relacionado com a largura e a espessura da parede dos traqueídeos, quanto maiores forem seus valores, mais espaços vazios a madeira apresentará, acarretando em uma massa específica mais baixa e conseqüentemente uma menor resistência mecânica (RODRIGUES, 2016).

3.3.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

Através dos resultados obtidos das dimensões dos traqueídeos é possível estabelecer o comportamento e sua capacidade papeleira, sendo estimados parâmetros como o Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade e Fração Parede. Esses índices ajudam na análise do potencial de determinada fibra/traqueídeo, influenciando direta e indiretamente as características gerais da polpa celulósica, como: resistência a rasgo, densidade, volume, resistência à passagem de água e ar, resistência a tração, etc. (NISGOSKI 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 fabricação de papel (SANTOS, 2005).

A relação entre comprimento e largura do traqueídeo é chamada de Índice de Enfeltramento, cuja influência é controversa entre autores, pois, alguns citam que não há efeito sobre as propriedades do papel e outros falam que a resistência ao rasgo está relacionada com o aumento do índice (DIAS; SIMONELLI, 2013).

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

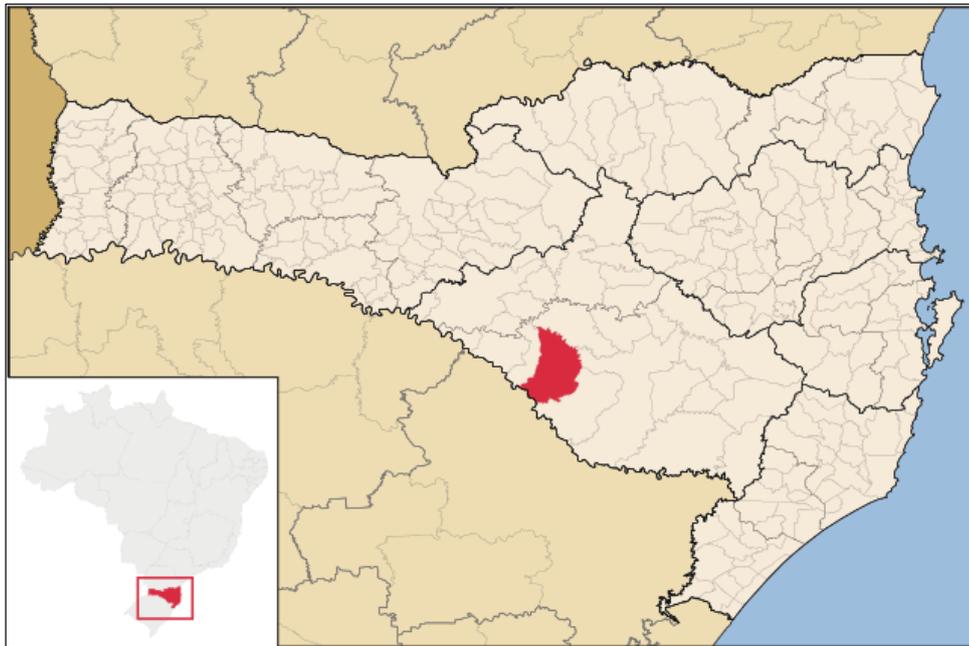
Fração Parede é a relação entre a espessura da parede e largura do traqueídeo, e assim como o índice de Runkel está relacionada diretamente com os atributos do papel, pois exerce efeito nas propriedades mecânicas do mesmo (RODRIGUES, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para realização do presente estudo utilizou-se a madeira de *C. lusitanica*, com 16 anos de idade, proveniente de um plantio experimental, localizado no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina (27°57'06''S e 50°49'08''O e 930 m de altura) (Figura 1). O plantio apresentava espaçamento de 2,5 x 2,5 m (1.600 árv. ha⁻¹), o qual recebeu roçadas anuais nos primeiros dois anos, bem como desrama (poda) até uma altura de 3 metros em 2 intervenções. O diâmetro médio do povoamento era de 25,0 cm.

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



Fonte: WIKIPÉDIA (2016)

Foram utilizadas três árvores, nas quais realizou-se cortes transversais à altura do peito (DAP = 1,30 m) para retirada de discos, 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.

A caracterização química da madeira foi conduzida no Laboratório de Química da Madeira, da Universidade Federal de Santa Maria, localizado em Santa Maria, RS.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Para determinação da composição química da madeira, realizaram-se as seguintes etapas, em triplicata: quantificação dos teores de umidade, cinzas, extrativos totais, lignina Klason e holocelulose seguindo as normas estabelecidas pela Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI, com exceção do teor de holocelulose. Para as quantificações utilizou-se o método de perda de massa, ou seja, o resultado foi definido pelo desconto do material lixiviado em relação à composição natural da madeira.

4.2.1 Amostragem e preparo das amostras para as análises químicas

A partir dos cortes transversais (discos) foram cortadas cunhas simetricamente opostas (Figura 2A), que foram transformadas em pequenos palitos (Figura 2B) e misturadas a fim de formar uma amostra composta dos três discos.

Figura 2 - Etapas de amostragem: (A) Disco demarcado para corte das cunhas; (B) Palitos confeccionados a partir das cunhas; (C) Moinho do tipo Willey; (D) Peneiras acopladas a um agitador.



Fonte: O Autor

Em seguida os palitos foram transformados em serragem utilizando um moinho do tipo Willey (Figura 2C). Após este procedimento classificou-se a serragem em peneiras vibratórias (Figura 2D), sendo selecionada a fração que ficou retida entre 40 e 60 mesh, ou seja, a serragem que passou na peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh.

4.2.2 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade foi determinado seguindo a norma TAPPI (T210 cm – 93). Para tal, placas de petri foram colocados em estufa a 105°C por um período de 8 horas. Em seguida as mesmas foram retiradas e armazenadas em um dessecador para resfriarem e sequências serem pesadas e anotadas com precisão, para então pesar-se 2 g da amostra de serragem seca ao ar nas mesmas placas. As placas com o material foram novamente colocadas em estufa a 105°C por mais 8 horas, após o período os recipientes foram resfriados no dessecador e pesados em balança analítica. O teor de umidade foi obtido a partir da Equação 1.

$$TU = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

TU – Teor de umidade, em %;

P1 – Peso da amostra seca ao ar (peso inicial da amostra), em gramas;

P2 – Peso da amostra seca em estufa, em gramas.

4.2.3 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado seguindo a norma TAPPI (T211 om – 93). Para realização desta análise, foram utilizados cadinhos de porcelana mantidos na mufla (Figura 3), a uma temperatura de 525°C durante 3 horas, a fim de obter o peso dos mesmos. Após a pesagem dos cadinhos adicionou-se 2 g de amostra absolutamente seca nos mesmos, que foram novamente inseridos na mufla a temperatura de 525°C por mais 3 horas para as amostras serem incineradas. Após o período de incineração desligou-se a mufla com o material dentro, onde deixou-se por mais 8 horas para resfriamento parcial, posteriormente levou-se ao dessecador para resfriamento total. Após o resfriamento, realizou-se a pesagem das amostras.

Figura 3 - Mufla utilizada para incineração das amostras.



Fonte: O Autor

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a Equação 2.

$$TC = \frac{PC}{P} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

TC – Teor de cinzas, em %;

PC – Peso de cinzas, em gramas;

P – Peso da amostra absolutamente seca, em gramas.

4.2.4 Determinação do teor de extrativos totais

A determinação dos extrativos totais foi realizada seguindo a norma TAPPI (T264 cm – 97 adaptada pelo laboratório de Química da Madeira, UFSM).

Pesou-se 2 g de amostra absolutamente seca em uma balança analítica e transferiu-se para cartuchos de extração, que foram levados a um extrator de Soxhlet (Figura 4) onde permaneceram durante aproximadamente 7 horas (a partir do primeiro refluxo) extraindo em uma solução de 170 mL de álcool etílico e tolueno na proporção 1:2. Posteriormente extraiu-se somente em álcool etílico 95% por mais 5 horas (a partir do primeiro refluxo).

Figura 4 - Equipamento de Soxhlet para determinação de extrativos.



Fonte: O Autor

Após a extração as amostras foram lavadas e filtradas em bomba de vácuo (Figura 5) com 300 mL de água deionizada quente. Em seguida foram transferidas para béqueres e adicionado 400 mL de água deionizada, que foram levados a banho-maria à 100°C por 1 hora. Após este período as amostras foram lavadas e filtradas novamente em bomba de vácuo com 100 mL de água deionizada quente, em seguida deixou-se os materiais secando ao ar.

Figura 5 - Bomba de vácuo acoplada a kitassatos utilizados para lavagem e filtragem dos materiais.



Fonte: O Autor

Após os materiais livres de extrativos ficarem 24 horas secando ao ar, os mesmos foram transferidos para béqueres já devidamente pesados e levados a uma estufa onde permaneceram por 24 horas a 105°C. Os materiais foram retirados após o tempo estipulado e colocados em um dessecador para resfriamento, para posteriormente serem pesados.

Para determinação do teor de extrativos totais utilizou-se a Equação 3.

$$TE = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

TE – Teor de extrativos totais, em %;

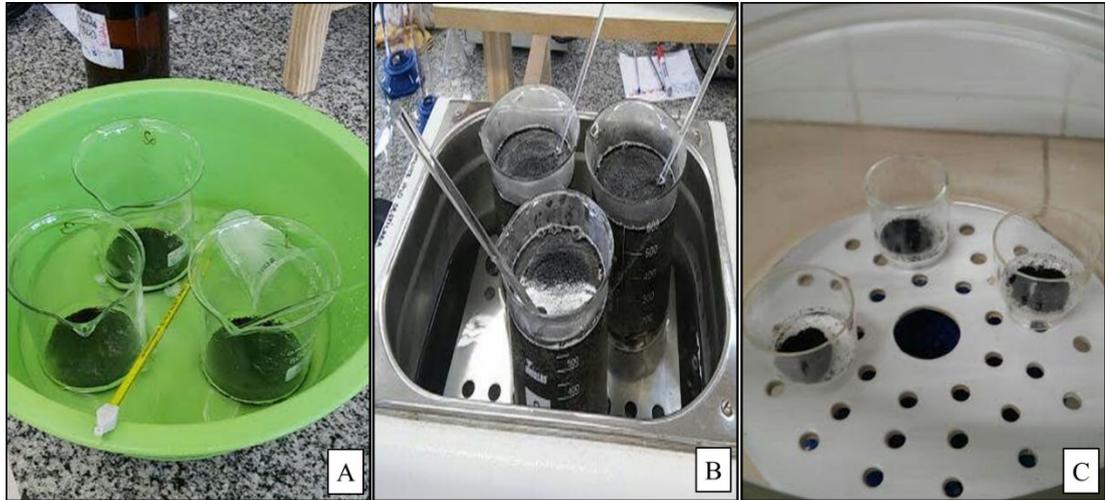
P1 – Peso inicial da amostra, em gramas;

P2 – Peso da amostra livre de extrativos seca em estufa, em gramas.

4.2.5 Determinação do teor de lignina Klason

A análise de lignina Klason foi conduzida seguindo a metodologia TAPPI (T222 om – 98). Para análise de lignina utilizou-se amostras livres de extrativos. Pesou-se 1 g de amostra em béqueres de 600 mL e adicionou-se 15 mL de ácido sulfúrico 72% na amostra. Essa mistura (amostra + ácido) permaneceu em banho-maria por 2 horas a uma temperatura de 20°C (Figura 6A). Após, adicionou-se 560 mL de água deionizada nas amostras e levou-se novamente a banho-maria a uma temperatura de aproximadamente 90°C por mais 4 horas (Figura 6B). Posteriormente transferiu-se as amostras para um cadinho filtrante e lavou-se com 560 mL de água deionizada quente em bomba de vácuo. Feito isso, as amostras foram levadas a estufa a 105°C onde permaneceram por 8 horas, após o período os recipientes foram resfriados no dessecador e pesados em balança analítica (Figura 6C).

Figura 6 - Sequência de etapas para obtenção de lignina: (A) Ácido + amostra em banho-maria 20°C; (B) Ácido + amostra com acréscimo de água em banho-maria 90°C; (C) Cadinhos filtrantes com amostra de lignina.



Fonte: O Autor

Para determinação do teor de lignina utilizou-se a Equação 4.

$$TL = \frac{P1}{P2} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

TL – Teor de lignina residual, em %;

P1 – Peso do resíduo, em gramas;

P2 – Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em gramas.

A Equação 4 considera o teor de extrativos inserido no teor de lignina residual. Portanto, realizou-se a correção do cálculo a fim de obter o valor real da porcentagem de lignina na amostra, através da Equação 5.

$$\%Lcor = \frac{P1}{P2} \times (100 - TE\%) \quad (5)$$

Onde:

%Lcor – Teor de lignina corrigida, em %;

P1 – Peso do resíduo, em gramas;

P2 – Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em gramas.

TE% – Teor de extrativo da amostra, em %.

4.2.6 Determinação teor de holocelulose

O teor de holocelulose (carboidratos) foi obtido pela diferença do total de 100% dos componentes da madeira, subtraindo os componentes anteriormente quantificados (cinzas, extrativos e lignina), através da Equação 6.

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (\text{TC} + \text{TE} + \text{TL}) \quad (6)$$

Onde:

TC – Teor de cinzas, em %;

TE – Teor de extrativos totais, em %;

TL – Teor de lignina, em %;

4.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TRAQUEÍDEOS

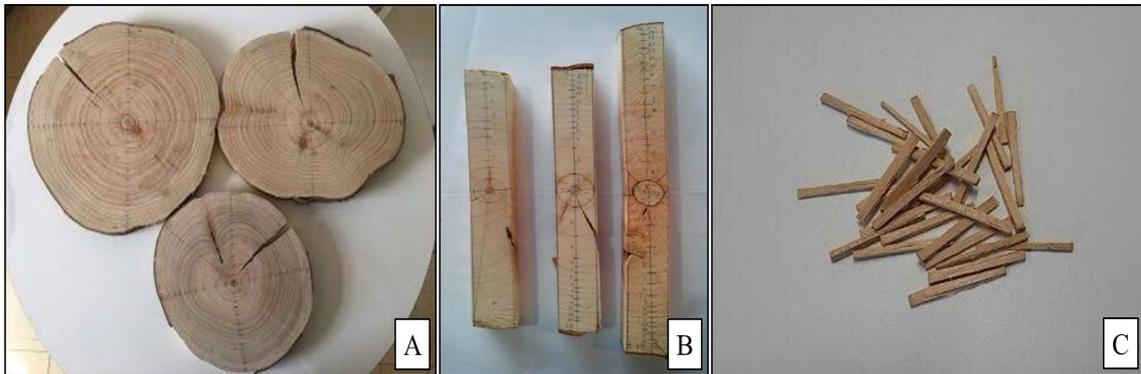
Para caracterização morfológica dos traqueídeos preparou-se lâminas histológicas temporárias a fim de se obter informações de comprimento (mm), largura (μm) e diâmetro do lúmen (μm) dos traqueídeos. Após obtenção das informações das dimensões, calculou-se a espessura da parede celular (μm), fração da parede (%), coeficiente de flexibilidade (%), índice de Runkel e índice de enfeitramento.

4.3.1 Amostragem e preparo das amostras para análises morfológicas

Os cortes transversais (Figura 7A) retirados a 1,30 m de altura (DAP) foram primeiramente lixados, para na sequência serem delimitados os anéis de crescimento. Após isto foram demarcadas baguetas centrais no sentido medula-casca, que foram cortadas em serra circular (Figura 7B).

A partir das baguetas, que contavam com a marcação dos anéis de crescimento, selecionaram-se os anéis 16; 13; 10; 7 e 4, que foram transformados em blocos de sessão 1,5 x 1,5 cm, que em seguidas foram transformados em pequenos palitos (Figura 7C).

Figura 7 - Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Discos com marcações dos anéis; (B) Baguetas, sentido medula-casca; (C) Palitos.

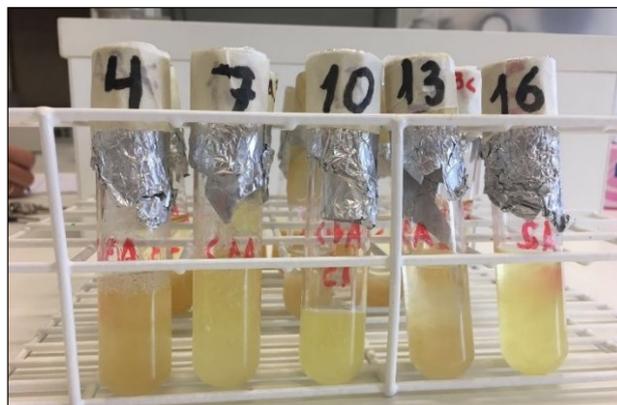


Fonte: O Autor

4.3.2 Processo de maceração

O processo de maceração seguiu a metodologia descrita por Sarto (2012). Os palitos foram dispostos em tubos de ensaios devidamente marcados onde adicionou-se a solução de ácido acético, ácido nítrico e água, na proporção de 5:2:1, em seguida, os tubos de ensaio com o material foram levados a banho-maria a uma temperatura de 100°C, onde permaneceram por aproximadamente 1 hora, até que os elementos se individualizassem. Transcorrido o tempo, as amostras foram lavadas e mantidas no tudo de ensaio com água destilada (Figura 8).

Figura 8 - Amostras após processo de lavagem.



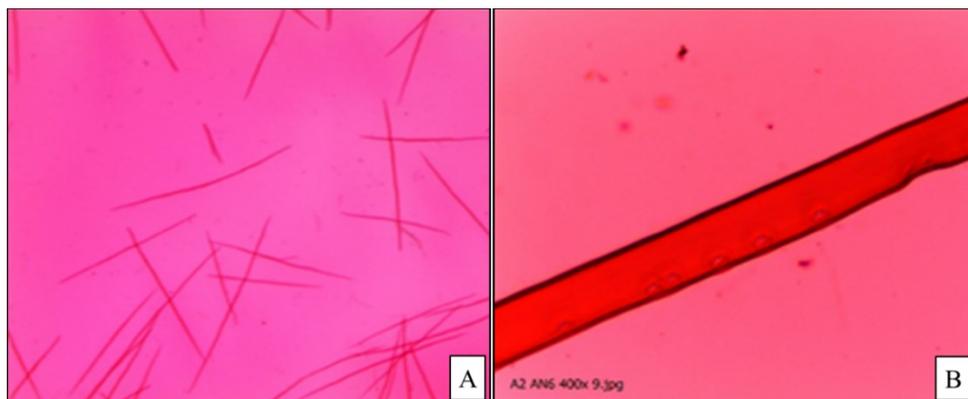
Fonte: O Autor

Com o material já macerado agitou-se os tubos de ensaio para que os traqueídeos ficassem em suspensão, evitando aglomeração dos mesmos. Posteriormente, montaram-se

lâminas temporárias com as amostras, adicionando-se uma gota de safranina (com concentração de 1%) e uma gota de glicerina para melhor visualização dos elementos celulares, e na sequência foram capturadas as imagens dos traqueídeos.

Para captura das imagens de comprimento (Figura 9A) utilizou-se o software ToupView (em Lupa com aumento de 6,3x - Figura 10A), e para imagens de largura e diâmetro do lúmen (Figura 9B) o software Leica Application Suite (em microscópio com aumento de 400x - Figura 10B). Com o auxílio do software Image Pro Plus mediu-se as dimensões dos traqueídeos, para isso: 35 comprimentos e 25 larguras e diâmetros de lúmen para cada anel de crescimento, baseando-se nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). A espessura da parede foi determinada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmen dividido por dois, conforme Equação 7.

Figura 9 - Imagens dos traqueídeos em diferentes aumentos. (A) Aumento de 6,3x; (B) Aumento de 400x.



Fonte: O Autor

Figura 10 - (A) Lupa Leica; (B) Microscópio Leica.



Fonte: Magnos Alan Vivian (2016)

Com os valores obtidos das dimensões dos traqueídeos calcularam-se as seguintes relações:

$$\text{Espessura da parede celular} = \frac{L - DL}{2} \quad (7)$$

$$\text{Fração Parede (\%)} = \frac{2 \times EP}{L} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{Coeficiente de Flexibilidade (\%)} = \frac{DL}{L} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{Índice de Runkel} = \frac{2 \times EP}{DL} \quad (10)$$

$$\text{Índice de Enfeltramento} = \frac{C}{\frac{L}{1000}} \quad (11)$$

Onde:

EP – Espessura da parede, em μm ;

L – Largura dos traqueídeos, em μm ;

DL – Diâmetro do lúmen, em μm ;

C – Comprimento dos traqueídeos, em mm;

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes ao presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônica, utilizando-se os programas Excel® 2013 e o software Assisat.

A composição química compreendeu apenas uma análise descritiva, assim não foi aplicada análise estatística. Já para morfologia dos traqueídeos aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e quando significativo aplicou-se o teste t, ao nível de 5% de probabilidade, nos valores morfológicos do sentido medula-casca da madeira.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *C. lusitanica*

Os valores obtidos na caracterização química da madeira de *C. lusitanica* podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química da madeira *C. lusitanica*.

Parâmetro	Média (%)	CV (%)
Teor de cinzas	0,27	29,76
Teor de extrativos	2,13	6,20
Teor de lignina Klason	32,52	0,46
Holocelulose	65,08	0,36

CV = Coeficiente de variação

Para madeira de *C. lusitanica* o teor de cinzas resultou em 0,27%, valor inferior ao teor de 0,47% encontrado pelos autores Foelkel e Zvinakevicius (1981) para *C. lusitanica* com 11 anos. Segundo Freddo et al. (1999) os minerais podem ocasionar problemas no processo de polpação, tais como corrosões, incrustações e entupimentos nas tubulações, diminuindo sua vida útil. Desta forma, os 0,27% de cinzas é considerado um valor baixo de mineiras, característica desejável no processo de polpação.

O teor de extrativos totais de *C. lusitanica* foi de 2,13%, valor inferior ao 7,5% encontrado por Pereira e Higa (2003) para a mesma espécie. Tal discrepância pode ser atribuída à diferença de idade das árvores utilizadas para as análises, 16 anos para o presente estudo e 56 anos para os autores supracitados. Truguilho et al. (1996), justifica essa diferença com as mudanças provocadas pelo processo de cernificação da madeira, que no qual os extrativos são incorporados ao cerne. Entretanto, a estimativa encontrada está dentro da faixa estabelecida para coníferas, de acordo com Klock (2005) $5 \pm 3\%$. Mattos et al. (2006) encontraram um teor de extrativos de 3,8% para *Araucaria angustifolia* com 38 anos.

A quantidade de extrativos influencia no rendimento de pasta celulósica, bem como, interfere na quantidade de reagentes utilizados no processo. Além disso, na fabricação de papel a presença de extrativos é indesejável pois pode acarretar a deposição de resinas, também denominados de *pitch* (D'ALMEIDA et al., 2013).

O teor de lignina encontrado para a espécie (32,52%) é relativamente alto para a polpação, porém, encontra-se próximo do esperado para espécies de coníferas, entre 28 e 30% de acordo com Klock et al. (2005). Okino et al. (2006), estudando *Cupressus glauca* com 17 anos de idade, encontraram teor de lignina de 32%, próximo ao encontrado para a espécie do presente estudo.

A lignina age como um material cimentante entre os traqueídeos, dificultando a individualização dos mesmos no processo de polpação química, e assim reduzindo o rendimento do cozimento (CELULOSE ONLINE, 2016). Segundo Alves (2010), as operações de cozimento visam retirar a maior quantidade possível de lignina, sem danificar significativamente as fibras, sendo que as madeiras com altos teores de lignina normalmente exigem maiores cargas de reagentes químicos para a deslignificação.

O teor de holocelulose encontrado foi de 65,08%, valor similar aos 62,6% descrito por Pereira e Higa (2003), porém abaixo dos 71,61% encontrado por Foelkel e Zvinakevicius (1981) ambos para a espécie de *C. lusitanica* de 56 e 11 anos.

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre as médias da composição química entre as principais espécies de coníferas utilizadas no processo de polpação no Brasil.

Tabela 3 - Comparação da composição química de *C. lusitanica* com duas espécies do gênero *Pinus*.

Espécie	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
<i>C. lusitanica</i> ¹	0,27	2,13	32,52	65,08
<i>P. taeda</i>	0,27 ²	2,37 ²	27,08 ²	70,46 ³
<i>P. elliottii</i> ⁴	0,41	3,00	28,00	68,80

¹Presente estudo; ²Andrade (2006); ³Vivian et al. (2015); ⁴Balloni (2009)

Observa-se que para cinzas *C. lusitanica* obteve um valor igual ao encontrado por Andrade (2006) para *P. taeda* de 14 anos e inferior aos 0,41% encontrado por Balloni (2009) para *P. elliottii* com 22 anos de idade.

Para extrativos o valor de 2,13% foi inferior aos 2,37% encontrados por Andrade (2006) para *P. taeda* aos 14 anos de idade e aos 3,0% obtidos por Balloni (2009) para *P. elliottii* Engelm. de 22 anos.

Em relação a porcentagem de lignina, comparando com as principais espécies de coníferas destinadas a produção de celulose e papel o teor encontrado foi relativamente

superior. Andrade (2006) obteve um teor de 27,08%, para *P. taeda* de 14 anos, e Vivian et al. (2015) encontraram para a mesma espécie, no entanto com 21 anos 26,18% de lignina e Balloni (2009) 28% para *P. elliottii* com 22 anos.

Para holocelulose o valor de 65,08% foi inferior aos valores encontrados por Vivian et al. (2015) que obtiveram 70,46% para *P. taeda* de 21 anos e Balloni (2009), teve como resultado 68,8% para a espécie de *P. elliottii* de 22 anos.

5.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE *C. lusitanica*

Na Tabela 4 podem ser observados os valores referentes a morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. lusitanica*.

Tabela 4 - Dimensões médias dos traqueídeos da madeira *C. lusitanica*.

		Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro do lúmen (μm)	Espessura da parede (μm)
Árvore 1	Média	2,22	30,72	24,85	2,93
	DP	0,27	4,04	3,89	0,61
	CV (%)	12,21	13,27	15,75	20,99
Árvore 2	Média	2,73	34,11	27,08	3,51
	DP	0,35	4,56	4,55	0,76
	CV (%)	12,89	13,30	16,72	21,35
Árvore 3	Média	2,29	29,36	23,50	2,93
	DP	0,33	3,51	3,31	0,59
	CV (%)	14,32	11,88	13,93	20,40
Média		2,41	31,40	25,15	3,12
Desvio Padrão		0,32	4,04	3,91	0,65
CV (%)		13,14	12,82	15,46	20,92

DP = desvio padrão e CV = coeficiente de variação

As dimensões dos traqueídeos das árvores de *C. lusitanica* avaliadas apresentam, de maneira geral, semelhança entre si, visto que as dimensões variam de árvore para árvore e dentro do próprio indivíduo, devido à presença de madeira juvenil e adulta, lenho inicial e tardio.

Comparando resultados de comprimento encontrados para a mesma espécie, Pereira e Higa (2003) observaram comprimento médio de 2,9 mm, Foelkel e Zvinakevicius (1981) encontraram 2,12 mm, já no presente estudo foi observado traqueídeos com comprimento médio de 2,41 mm. Esta diferença entre os resultados está possivelmente associada a idade dos indivíduos, visto que a espécie de *C. lusitanica* estudada por Pereira e Higa (2003) apresentava de 56 anos e a estudada por Foelkel e Zvinakevicius (1981) 11 anos de idade.

A largura média dos traqueídeos foi de 31,40 μm , valor inferior aos 34,3 μm encontrado por Pereira e Higa (2003) para *C. lusitanica* (56 anos), e superior aos 28 μm encontrado por Foelkel e Zvinakevicius (1981) para árvores de 11 anos de idade da mesma espécie.

Em relação ao diâmetro de lúmen foram obtidos valores médios de 25,15 μm , similar ao encontrado por Pereira e Higa (2003) em árvores de 56 anos (22,4 μm), e inferior aos 32,92 μm encontrados por Almeida (2015) em árvores de 19 anos.

A espessura da parede apresentou uma média de 3,12 μm , comparando valores entre a mesma espécie em estudo, pode-se dizer que o valor é bem próximo aos 2,9 μm encontrado por Foelkel e Zvinakevicius (1981), e inferior aos 5,9 μm obtidos por Pereira e Higa (2003).

Comparando as médias das dimensões dos traqueídeos de *C. lusitanica* com as duas principais espécies de coníferas utilizadas no processo de polpação Kraft no Brasil (Tabela 5), nota-se que as dimensões são menores que as obtidas por Vivian et al. (2015) para *P. taeda* que observaram comprimento de 3,50 mm, largura de 40,55 μm , diâmetro do lúmen de 27,71 μm e espessura da parede de 6,41 μm ; Gomes (2009) obteve também para *P. taeda* as seguintes dimensões: comprimento de 3,61 mm, largura de 41,67 μm , diâmetro de lúmen de 30,63 μm e espessura da parede de 5,52 μm . Já para *P. elliottii* as dimensões encontradas por Muñiz (1993) foram: comprimento de 3,7 mm, largura de 47,23 μm e espessura da parede de 7,64 μm .

Tabela 5 - Comparação das dimensões dos traqueídeos de *C. lusitanica* com duas espécies do gênero *Pinus*.

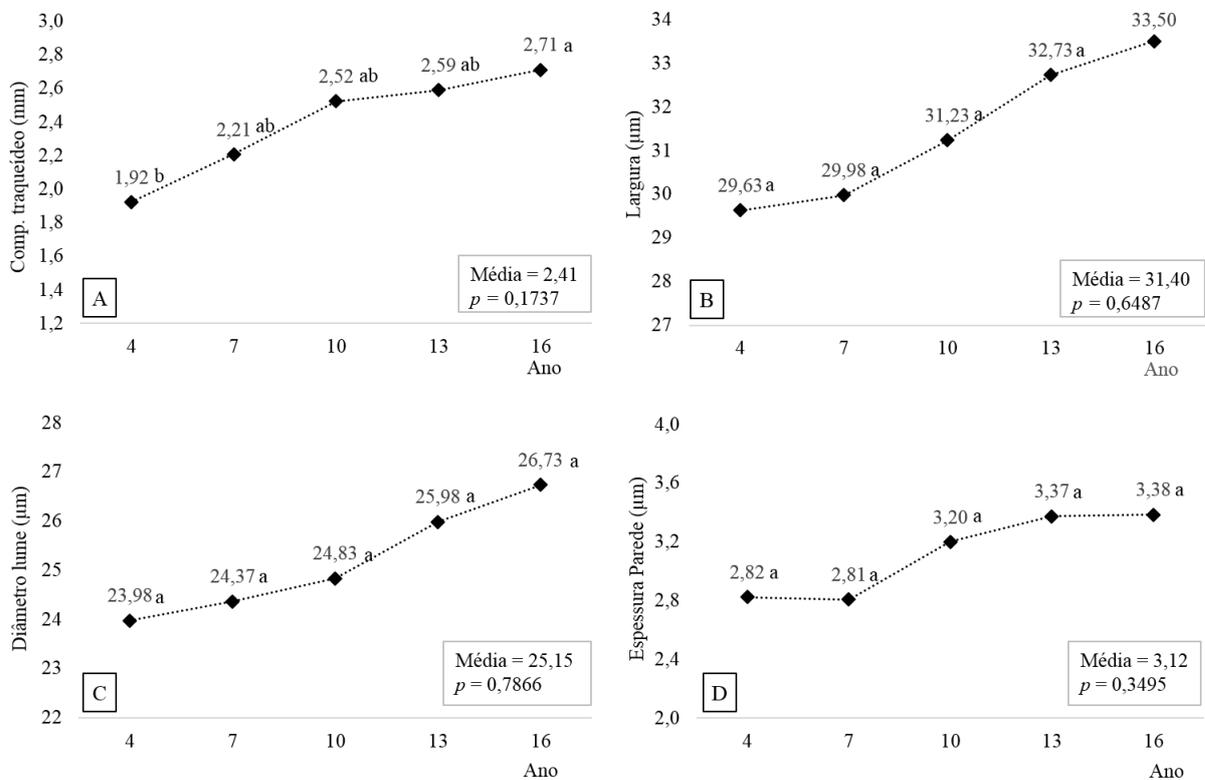
Espécie	Idade	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro do lúmen (μm)	Espessura da parede (μm)
<i>C. lusitanica</i> ¹	16	2,41	31,40	25,15	3,12
<i>P. taeda</i> ²	21	3,50	40,55	27,71	6,41
<i>P. taeda</i> ³	9	3,61	41,67	30,63	5,52
<i>P. elliottii</i> ⁴	30	3,70	47,23	-	7,64

¹Presente estudo; ²Vivian et al. (2015); ³Gomes (2009); ⁴Muñiz (1993)

Analisando a morfologia dos traqueídeos no sentido medula-casca (Figura 11), observa-se que as dimensões tendem a serem menores próximo a medula, aumentando durante o crescimento da árvore, tendendo a estabilizar com o passar dos anos. Os elementos fibrosos mais longos (no comprimento) localizados próximos a casca, tanto para coníferas quanto para folhosas, podem ser até duas vezes maiores que os encontrados perto da medula (FOELKEL et al., 1975).

Na Figura 11, onde apesar da madeira apresentar pouca idade (16 anos), nota-se que há uma diferença significativa no comprimento do 4º anel (1,92 mm) para o 16º anel (2,71 mm).

Figura 11 - Dimensões dos traqueídeos. (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede.



De maneira geral, nota-se que todas as dimensões avaliadas apresentaram aumento no sentido medula-casca. Entretanto esperava-se que houvesse uma diferença mais expressiva entre os anéis de crescimento, principalmente comparando o 4º e o 16º anel. O comprimento dos traqueídeos foi a única dimensão que diferiu estatisticamente entre os anéis de crescimento, onde os anéis 4 e 16 não diferiram dos anéis 7, 10 e 13, porém diferiram entre si. Para as demais dimensões não houve diferença estatística entre os anéis de crescimento.

Ainda na Figura 11 é possível observar o comportamento das dimensões dos traqueídeos em relação aos anéis de crescimento. Para o comprimento (Figura 11A) percebe-se que, do anel 4 para o anel 10 houve um aumento considerável no comprimento e após o 10º anel o crescimento foi mais suave, indicando que a árvore apresenta um crescimento mais rápido próximo a medula e com o passar dos anos tende a diminuir seu crescimento, até chegar um ponto em que o comprimento dos traqueídeos se estabilize.

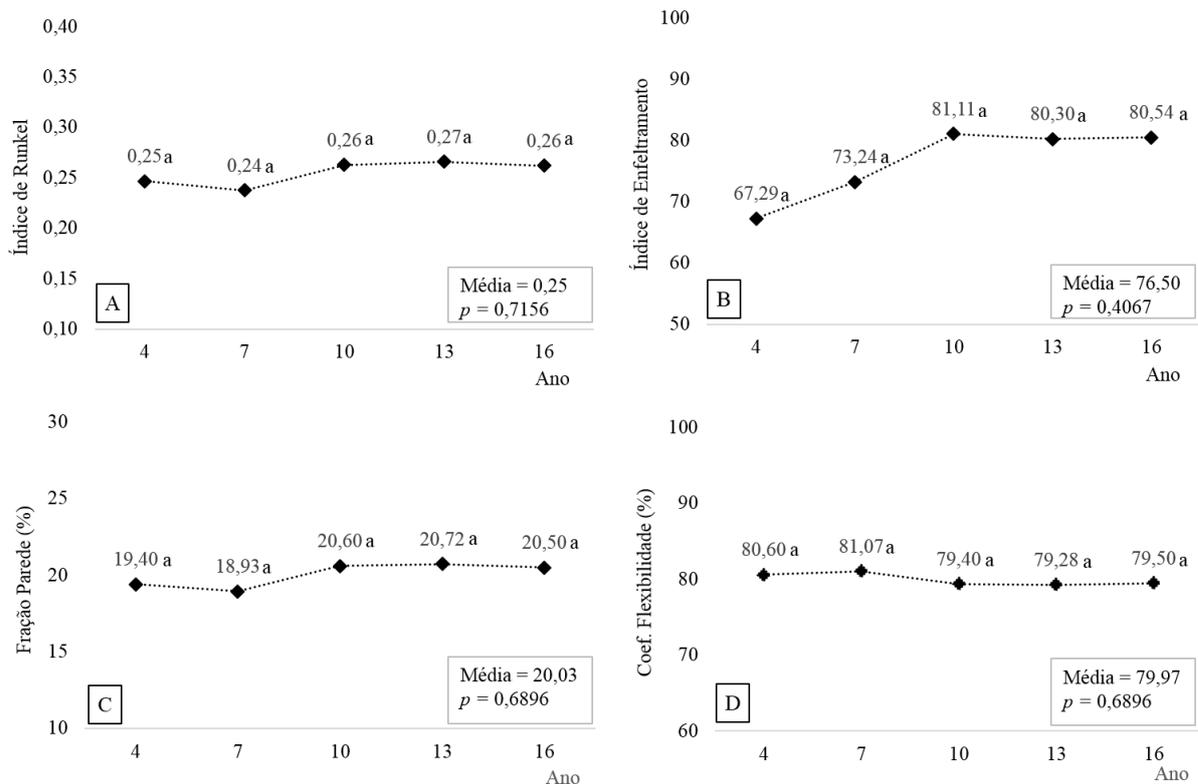
Uma mesma tendência é vista para largura e diâmetro do lúmen, onde é claro o comportamento de elevação das dimensões ao longo dos anéis de crescimento, próximo a medula a largura apresentou 29,63 μm , já próximo a casca 33,50 μm (Figura 11B). Para diâmetro do lúmen no sentido radial, o 4º ano mostrou 23,98 μm e o 16º ano 26,73 μm (Figura 11C).

Para espessura de parede nos dois primeiros anéis de crescimento houve uma estabilização dos valores (2,82 e 2,81 μm), sendo que do 7º ao 10º ano houve um aumento da espessura da parede, com estabilização a partir do 13º ano, onde o ano 13 e 16 apresentaram dimensões de 3,37 e 3,38 μm , respectivamente. (Figura 11D).

5.2.1 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

A Figura 12 demonstra os valores e o comportamento dos índices de qualidade de polpa celulósica em relação aos anéis de crescimento da madeira de *C. lusitanica*.

Figura 12 - Parâmetros de qualidade de polpa em relação aos anéis de crescimento. (A) Índice de Runkel; (B) Índice de enfieltramento; (C) Fração parede (%); (D) Coeficiente de flexibilidade (%).



Para o índice de Runkel, que avalia o grau de colapso dos traqueídeos durante o processo de produção de papel, busca-se um índice baixo, pois quanto menor o valor, maior será o grau de colapso, dando aos traqueídeos uma maior superfície de contato, o que resulta em uma resistência à tração e ao estouro ao papel. O valor obtido para a madeira de *C. lusitanica* foi de 0,25; valor este que admite classificá-lo como grupo II – muito boa para produção de papel, segundo a classificação proposta por Runkel (1952 apud VASCONCELOS, 2005). A Figura 12A demonstra que quase não houve oscilação na linha de crescimento, o ano 4 apresentou valor de 0,25 enquanto o ano 16 apresentou um pequeno aumento (0,26).

O índice de enfieltramento relaciona o comprimento e a largura do traqueídeo e quanto maior o valor, maior será a resistência ao rasgo do papel. Desta forma o valor encontrado para

madeira de *C. lusitanica* (76,50) confere uma boa resistência ao papel. O índice de enfieltramento (Figura 12B) exibiu um relativo aumento do ano 4 (67,29) para o ano 10 (81,11), característica positiva, visto que quanto maior o índice de enfieltramento maior será a resistência ao rasgo, estabilizando nos anos subseqüentes: 13 (80,30) e 16 (80,54).

Para fração parede da espécie de *C. lusitanica* obteve-se um valor médio de 20,03%. Segundo Shimoyama e Wiecheteck (1993) para valores abaixo de 40% espera-se uma alta resistência à tração e ao estouro, mostrando que os traqueídeos podem se colapsar com maior facilidade, dando maior resistência ao papel, desta forma, o valor encontrado para a espécie do presente é considerado excelente. Como pode ser observado na Figura 12C os valores de fração parede não se alteraram significativamente com o passar dos anos, se mantendo próximo aos 20%, o que é considerado ótimo.

Em relação ao coeficiente de flexibilidade, quanto maior o seu valor mais flexível serão os traqueídeos, ou seja, maior resistência à tração e ao estouro do papel (COSTA, 2011). Os traqueídeos do material estudado apresentaram um valor médio de 79,97%, o que pode ser considerado muito bom. O coeficiente de flexibilidade (Figura 12D) se manteve praticamente estável durante os anos analisados, variando 1,1% do 4º para o 16º ano.

Os parâmetros de qualidade de papel não diferenciaram estatisticamente entre os anéis de crescimento avaliados.

A Tabela 6 apresenta a comparação das médias dos indicadores de qualidade da polpa da madeira de *C. lusitanica* com a principal espécie de conífera utilizada no Brasil para produção de polpa celulósica Kraft, o *P. taeda*.

Tabela 6 - Comparação dos índices de qualidade.

Espécie	Idade	Fração parede (%)	Coeficiente de flexibilidade (%)	Índice de Runkel	Índice de enfieltramento
<i>C. lusitanica</i> ¹	16	20,03	79,97	0,25	76,5
<i>P. taeda</i> ²	21	32	68	0,46	86
<i>P. taeda</i> ³	11	23,1	76,9	0,33	69,5
<i>P. taeda</i> ⁴	9	26,49	73,51	0,36	86,63

¹Presente estudo; ²Vivian et al. (2015); ³Klock et al. (2002); ⁴Gomes (2009)

Como pode ser observado na Tabela 6, a espécie em estudo foi superior em quase todos os parâmetros de qualidade, sendo superada apenas no índice de enfiamento para *P. taeda* de 21 e 9 anos estudadas pelos autores Vivian et al. (2015) e Gomes (2009).

A pouca variação entre os anéis de crescimento apresentadas pela espécie de *C. lusitanica* é uma característica de grande valia na produção de polpa celulósica, pois, o papel apresentará uma homogeneidade independente da porção de madeira utilizada.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo para *C. lusitanica* permitem concluir que a madeira apresenta:

- Baixos teores de extrativos e cinzas, porém, possui elevado teor de lignina se comparado com espécies do gênero *Pinus*, o que pode dificultar seu uso no processo de polpação, elevando o consumo de reagentes e diminuindo o rendimento do processo;
- Traqueídeos com comprimento médio de 2,41 mm; largura de 31,40 μm ; diâmetro do lúmen de 25,15 μm e espessura de parede de 3,12 μm . O comprimento apresenta a tendência de aumento no sentido medula-casca, o mesmo acontece com as demais dimensões;
- Ótimos índices de qualidade para produção de polpa celulósica, sendo considerada excelente para fração parede (20,03%); muito bom para índice de Runkel (0,25) e pelo coeficiente de flexibilidade (79,97%) e boa pelo índice de enfiamento (76,60);
- Traqueídeos com dimensões menores em comparação as principais espécies utilizadas no setor de fibras longas, em especial o *P. taeda* e *P. elliottii*, entretanto, nos indicadores de qualidade de polpa celulósica foi superior em praticamente todos os parâmetros;

De maneira geral, as dimensões dos traqueídeos da madeira de *C. lusitanica* apresentaram valores inferiores aos traqueídeos das espécies do gênero *Pinus*, muito utilizadas na fabricação de papéis mais resistentes, destinados principalmente a produção de embalagens. Porém, é superior as dimensões das fibras das madeiras do gênero *Eucalyptus*, espécies de fibras curtas mais empregadas no processo de polpação para confecção de papéis de impressão e escrita. Desta forma, as dimensões dos traqueídeos da madeira de *C. lusitanica* encontram-se no intervalo das dimensões dos dois gêneros, podendo oferecer um produto inovador no mercado de papéis, com características intermediárias, podendo aliar suas vantagens e aplicações.

Outro fator muito relevante a ser considerado é que a espécie de *C. lusitanica* ainda não possui um programa consolidado de melhoramento genético como do *P. taeda*, e mesmo assim, apresentou boas características tecnológicas para produção de celulose e papel.

7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

A madeira de *C. lusitanica* apresentou bons parâmetros para produção de polpa celulósica, mas é importante a realização de outros estudos, como da densidade básica da madeira, pois segundo Queiroz et al. (2004) está relacionada com a produtividade e qualidade do produto, além de fornecer indicações precisas da impregnação dos reagentes nos cavacos e do rendimento do processo.

A fim de comprovar tais afirmações mencionadas para espécies de *C. lusitanica*, também recomenda-se realizar o processo de polpação e os testes físicos e mecânicos dos papéis obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. C. F. de. **Avaliação da qualidade da colagem da madeira de *Cupressus lusitanica* mill. para a produção de painéis colados lateralmente (Edge Gued Panel - EGP).** 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.
- ALVES, I. C.N. **Potencial da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de celulose kraft.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 62p. 2010.
- AMATA. **Mercado Florestas Plantadas.** São Paulo, Setembro/2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Dados do Setor de Celulose e Papel, ano de 2012.** São Paulo: BRACELPA, 2013. 29 p.
- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade.** 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização Física e Química da Madeira de *Pinus elliottii*.** 2009. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.
- CARPANEZZI, A. A. et al. **Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado de Santa Catarina.** Curitiba: Embrapa, 1988. 113 p.
- CASTRO, H. F. de. **Papel e Celulose.** Lorena: USP/EEL, 2009. 30 p. Apostila.
- CELULOSE ONLINE. **Introdução ao processo de obtenção de celulose.** Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/sms/files/file/dc417.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- COSTA, J de A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- D'ALMEIDA, M. L. O. et al. **Celulose.** São Paulo: Senai-SP, 2013. 352 p.
- 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, 1 dez. 2013. Semestral.
- FAVERO, C. et al. Aspectos gerais do processo de pré-branqueamento de celulose. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p.36-96, 1 jul. 2014.

FOELKEL, C. E. B. et al. **Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii***. 1975. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr10/cap01.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

FOELKEL, C.; ZVINAKEVICIUS, C. **Coníferas exóticas aptas para produção de celulose kraft. *Cupressus lusitanica***. 1981. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/1981_Cupressus_lusitanica.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de Eucaliptos e Acácia Negra e sua influência a Indústria de Celulose Kraft Branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p.193-209, jan. 1999.

FRINHANI, E. M. D.; DALTOÉ, R. Comparação das propriedades físico-mecânicas de polpas celulósicas Kappa 45 e Kappa 100 destinada à fabricação de papéis para embalagens rígidas. **Unoesc & Ciência – Acet**, Joaçaba, v. 3, n. 1, p.65-74, jan./jun. 2012.

GOMES, A. de F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GOMES, F. A. **Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids para madeira de *Pinus taeda***. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Industrial, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

GOMIDE, J. L et al.; Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Celulose e papel**. Tecnologia da fabricação da pasta celulósica. 2 ed. v1: São Paulo,1998.

GRANDE, J. P. **Dimensões de Cavacos Industriais de Eucalipto e Relações com Polpação, Resistência e Morfologia de Fibras na Polpa**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBA 2016 ano base 2015**. São Paulo: IBÁ, 2016. 100 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Celulose e papel**. Tecnologia da fabricação da pasta celulósica. 2 ed. v1: São Paulo: IPT, 1998.

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

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. de. **Química da madeira**. 4ª edição revisada. 87p. Curitiba, 2013.

KLOCK, U. et al. Características dos traqueóides da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore e de *Pinus taeda* L. In: Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, 1, 2002, Campinas. **Anais**: Ciadicyp, 2002. p. 1 - 17.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3ª edição revisada. 86p. Curitiba, 2005.

LIMA, R. V. de. **Potencial Tecnológico de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urban na Produção de Celulose Kraft com Diferentes Cargas de Álcali**. 2013. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop MT, 2013.

MARANHO, L. T. et al. Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta Bot. Bras.** Belo Horizonte, v. 20, n. 3, p.633-640, 06 mar. 2006.

MATTOS, P. P. de et al. **Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. 2006. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/16797/1/com_tec160.pdf>. Acesso em: 11 out. 2016.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

MIRANDA, M. C. de; CASTELO, Patrícia Aparecida Rigatto. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 2, p.1-9, nov. 2012.

MUÑIZ, G. I. B. de. **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. 252 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

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

OKINO, et al. Descrição dos caracteres tecnológicos da madeira de *Cupressus glauca* Lam. wood characteristics. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 39-48, dezembro 2006

PEDRAZZI, C. et al. Avaliação morfológica das fibras de polpas Kraft de Eucalipto com diferentes conteúdos de Xilanas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p.515-522, dez. 2013.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V. **Propriedades da Madeira de *Cupressus lusitanica* Mill.** Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

PROPRIEDADES químicas da madeira. **Portal da Madeira**, 05 out. 2009. Disponível em: <<http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2009/10/propriedades-quimicas-da-madeira.html>> Acesso em: 10 out. 2016.

QUEIROZ, S. C. S. et al. 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. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.901-909, 10 ago. 2004

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

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetais de cinco espécies lenhosas do Cerrado.** 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

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. 178 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Curso de Engenharia Florestal, 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) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids.** 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

SHIMIZU, J. Y. et al. **Cedrinho como Alternativa para Produção de Madeira em Pequenas Propriedades Rurais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

SHIMIZU, J. Y. et al. **Desempenho de Progênies de Cipreste em Rio Negrinho-SC**. 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/912960>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SHIMIZU, J. Y.; PINTO JÚNIOR, J. E.; RIBASKI, G. Cipreste para madeira: alto incremento volumétrico com material genético apropriado. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 3-17, jan./dez. 1995.

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

SILVA, M. E. C. M. **Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais**. Composição Química da Madeira. UTAD. 2010. 18p. apud TSOUMIS, G. (1991): Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, 494p.

STEIN, F. da R. **Modelagem de Produção Industrial de Celulose Kraft com Modelos Aditivos Generalizados e Redes Neurais**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2009.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **Tappi test methods**. Atlanta, TAPPI Press, 1994.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VASCONCELOS, F. S. R. de. **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, mar. 2015.

WIKIPÉDIA. **Campo Belo do Sul**. 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_Belo_do_Sul>. Acesso em: 20 nov. 2016.

XAVIER, S. A. et al. Superação da dormência de sementes de *Cupressus lusitanica* Mill. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p.1041-1046, maio/jun. 2012.