

Manoela Magnani Fogliatto

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA  
PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**

Curitibanos

2018

Manoela Magnani Fogliatto

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* 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

Curitibanos

2018

Ficha de identificação da obra

Fogliatto Magnani, Manoela QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA / Manoela Magnani Fogliatto; orientador, Magnos Alan Vivian, 2018. 49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2012.

Inclui referências.

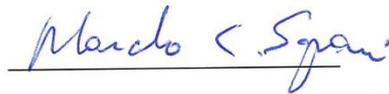
1. Engenharia Florestal. 2. Caracterização da madeira de *C. japonica*. 3. Morfologia. 4. Características químicas. 5. polpação. I. Vivian Alan, Magnos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Manoela Magnani Fogliatto

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA PRODUÇÃO DE  
POLPA CELULÓSICA**

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

Curitiba, 25 de junho de 2018.



Prof. Dr. Marcelo Callegari Scipioni

Coordenador do Curso

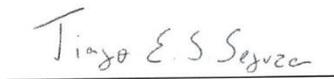
**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Florestal, Dr. Tiago Edson Simkunas Segura

Empresa Eldorado Brasil



Eng. Florestal, Prof. Me. Eraldo Antônio Bonfatti Junior

Universidade do Contestado

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, pois eles acreditam em mim e disponibilizaram todos os recursos para a minha formação acadêmica, e estendo minha gratidão a toda família, que sempre apoia e dá todo suporte para que as ideias aconteçam.

Agradeço ao prof. Dr. Magnos Alan Vivian por aceitar a fazer parte dessa ideia, além de dispor todo seu tempo e dedicação, ensinando-me e corrigindo quando preciso. Espero que nosso contato não termine após a faculdade.

Agradeço a Empresa Florestal Gateados por disponibilizar a matéria-prima e a Serraria Mademaq por processar a madeira, para que esse projeto aconteça.

Agradeço a UFSM e ao Ronan Correa pela ajuda com a análise química da madeira. As minhas amigas Raquel e Glaucia, pela ajuda com a metodologia e análise morfológica da madeira. A minha amiga Carine, por passar tardes me ajudando com as toras e cavacos.

Agradeço finalmente ao Laboratório de polpa e papel da UFPR, ao Eraldo, Elaine, Alan e Umberto Klock que proporcionaram minha experiência prática na produção da polpa e formação do papel, foram dois meses de muito aprendizado.

E por fim agradeço a todos que de alguma forma ajudaram para que esse projeto aconteça.

Muito obrigada.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de polpa celulósica. Para isso foram analisados os seguintes parâmetros: densidade básica e verde da madeira, composição química, morfologia dos traqueídeos e indicadores de qualidade da polpa, bem como seu comportamento frente ao processo de polpação kraft. Para realização do estudo foram utilizadas três árvores de 14 anos provenientes de um plantio experimental localizado em Campo Belo do Sul/SC. Foram coletados discos da base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial e três toretes de um metro de cada árvore. A partir dos discos foram confeccionadas cunhas para determinação da densidade básica e verde pelo método da balança hidrostática, e cavacos para densidade básica através do método de máximo teor de umidade. Das cunhas do DAP foram confeccionados palitos que foram submetidos ao processo de maceração a fim de analisar a morfologia dos traqueídeos e os indicadores de qualidade da polpa. Os toretes foram transformados em cavacos, dois quais, parte foi destinada a análise de composição química da madeira (cinzas, extrativos, lignina e holocelulose) e parte destinada ao processo de polpação kraft, a partir de uma curva de cozimento com diferentes níveis de álcali, variando de 14 a 28%. Os resultados obtidos para densidade básica média e ponderada (0,320 e 0,314 g.cm<sup>-3</sup>) e densidade verde média e ponderada (1,048 e 1,027 g.cm<sup>-3</sup>) foram baixas quando se fala em produção de celulose; quanto à morfologia dos traqueídeos, estes apresentaram comprimento de 2,18 mm; largura de 25,06 µm; diâmetro do lúmen de 15,89 µm e espessura da parede de 4,59 µm; os quais resultaram em bons indicadores de qualidade de polpa. A composição química apresentou baixos teores de cinzas (0,32%) e de extrativos (2,14%), porém alto teor de lignina (31,36%), característica indesejável para o processo de polpação. Com relação aos cozimentos, o teor de álcali de 18% obteve o maior rendimento depurado (52,67%), já para o número kappa desejável na indústria, entre 50 a 80 para polpa não branqueável, foi encontrado com teores de álcali entre 20 a 24%. Comparando os resultados obtidos para a madeira de *C. japonica* com o gênero *Pinus*, observa-se que para a maioria dos parâmetros ela ainda apresenta características inferiores. De maneira geral, a madeira de *C. japonica* apresenta potencial para produção de polpa celulósica, a qual deve ser mais estudada a fim de chegar-se nas melhores condições para a espécie.

**Palavras-chave:** Celulose e Papel. Processo Kraft. Cedrinho japonês. Sugi.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of *Cryptomeria japonica* wood for the production of cellulosic pulp, for which the following parameters were analyzed: basic and green wood density, chemical composition, tracheid morphology and pulp quality indicators, as well as their behavior towards the kraft pulping process. For the study, three 14 - year - old trees were harvested from an experimental crop located in Campo Belo do Sul / SC. Base discs, DAP, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height were collected, and three 1-meter-length logs from each tree. From the disks were made wedges to determine the basic and green density by immersion method, and chips for basic density by the method of maximum moisture content. From the DAP wedges were made sticks that were submitted to the maceration process in order to analyze the tracheid morphology and the pulp quality indicators. The logs were transformed into chips, two of which were used to analyze the chemical composition of the wood (ash, extractives, lignin and holocellulose) and part destined to the kraft pulping process, from a alkaline curve with different levels of alkali, ranging from 14 to 28%. The results obtained for average and weighted basic density (0.320 and 0.314 g.cm<sup>-3</sup>) and weighted average green density (1.048 and 1.027 g.cm<sup>-3</sup>) were lower than those considered ideal for pulp production; as to tracheid morphology, the tracheids had a length of 2.18 mm; width of 25.06 µm; lumen diameter of 15.89 µm and wall thickness of 4.59 µm; which resulted in good indicators of pulp quality. The chemical composition presented low ash contents (0.32%) and extractives (2.14%), but high lignin content (31.36%), an undesirable characteristic for the pulping process. Regarding cooking, the alkali content of 18% obtained the highest screened yield (52.67%), already for the desirable kappa number in the industry, between 50 and 80 for non-bleachable pulp, was found with alkali contents between 20 to 24%. Comparing the results obtained for the wood of *C. japonica* with the genus *Pinus*, it is observed that for most of the parameters it still presents inferior characteristics. In general, the wood of *C. japonica* presents potential for the production of cellulosic pulp, which should be further studied in order to find the best conditions for the species.

**Keywords:** Cellulose pulp. Kraft process. Japanese cedar. Sugi.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
3.1	<i>Cryptomeria japonica</i> .....	12
3.2	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS E DENSIDADE DA MADEIRA DE <i>C. japonica</i> .....	13
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>C. japonica</i> .....	13
3.4	PROCESSO DE POLPAÇÃO KRAFT .....	14
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
4.1	COLETA DO MATERIAL.....	16
4.2	DENSIDADE BÁSICA E VERDE DA MADEIRA .....	18
4.2.1	Densidade básica e verde – discos .....	18
4.2.2	Densidade básica – cavacos .....	19
4.3	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS .....	20
4.4	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA .....	22
4.4.1	Determinação do Teor de Umidade.....	23
4.4.2	Determinação do Teor de Cinzas .....	23
4.4.3	Determinação do Teor de Extrativos Totais.....	24
4.4.4	Determinação da Lignina <i>Klason</i> .....	24
4.4.5	Determinação da Holocelulose.....	25
4.5	PROCESSO DE POLPAÇÃO .....	25
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1	DENSIDADE BÁSICA E VERDE DA MADEIRA .....	30
5.1.1	Densidade básica e verde – discos .....	30
5.1.2	Densidade básica – cavacos .....	32
5.2	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS .....	33
5.3	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	35
5.4	PROCESSO DE POLPAÇÃO .....	37
5.4.1	Parâmetros referentes à polpa celulósica.....	37
5.4.2	Parâmetros referentes ao licor de cozimento.....	40
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	42

<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro, mesmo em meio à crise econômica do país, vem crescendo a cada ano. A estimativa do IBÁ (2017) indicou um aumento de 0,5% na área plantada com árvores, totalizando 7,84 milhões de hectares. Desta área, o setor de celulose e papel ocupa 34%, ou seja, 2,67 milhões de hectares correspondentes ao setor industrial, ainda há mais áreas destinadas a celulose e papel, as quais são caracterizadas como áreas de fomento, de produtores independentes.

Atualmente o Brasil ocupa o posto de segundo maior produtor mundial de celulose, com 18,8 milhões de toneladas (aumento de 8,1% em relação ao ano anterior), e oitavo em produção de papel, com 10,3 milhões de toneladas (redução de 0,2% em relação ao ano anterior) (IBÁ, 2017).

Com este cenário positivo, a busca por novas tecnologias e também por espécies com potencial ganha importância estratégica, tanto para o segmento de “fibra curta”, quanto de “fibra longa”. Neste contexto surge a espécie *Cryptomeria japonica*, que se enquadra no segmento de “fibra longa”, por ser uma conífera da família *Cupressaceae*.

A *Cryptomeria japonica* é uma espécie de origem japonesa com grandes utilidades em seu país de origem e bem difundida nos EUA. Sua madeira tem características físicas que lhe confere boa trabalhabilidade, sendo muito utilizada em indústrias com fins madeireiros como serrados em geral, chapas, móveis e para produção de celulose e papel (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003).

No Brasil a espécie é conhecida como cedrinho japonês, a qual foi introduzida pela Companhia Melhoramento, principalmente nas cidades de Caieiras/SP e Camanducaia na Serra da Mantiqueira/MG (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009).

De maneira geral, a espécie tem alto potencial de cultivo na região Sul, com crescimento rápido, e fácil adaptação ao clima e solo, além de responder bem aos tratamentos silviculturais (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003). Carvalho (2001) registrou um Incremento Médio Anual (IMA) de madeira de até 45 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, quando em sítios ótimos.

Mesmo com alto potencial econômico, não há, para a espécie *Cryptomeria japonica*, muitos estudos referentes à qualidade de sua madeira, principalmente para a produção de polpa celulósica. Isso ocorre, principalmente, porque no Brasil o gênero *Pinus* é amplamente utilizado e consolidado para o segmento de “fibra longa”, dificultando o ingresso de novas espécies de coníferas para essa finalidade. Em vista dessa questão, e pelo segmento citado se basear apenas

no gênero *Pinus*, busca-se avaliar outras espécies que possam surgir como alternativa ao mesmo em um futuro próximo, em especial a *Cryptomeria japonica*.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de polpa celulósica.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre os objetivos específicos do estudo estão:

- Determinar a densidade básica e verde da madeira;
- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia dos traqueídeos da madeira;
- Avaliar os parâmetros da polpa celulósica obtida a partir da curva de cozimento pelo processo químico Kraft.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 *Cryptomeria japonica*

Segundo Pereira, Higa e Shimizu (2003) a *Cryptomeria japonica*, conhecida popularmente como cedrinho japonês, é uma espécie originária do Japão, ocorrendo em regiões temperadas com altitudes entre 600 a 1800 m, caracterizadas por invernos rigorosos e verões moderadamente quentes. A espécie é uma conífera, pertencente à família *Cupressaceae*. Os japoneses conhecem a espécie pelo nome de “sugi” e sua madeira é utilizada para estruturas moldadas; sua justificativa se dá pelas características de fuste reto, crescimento rápido e fácil trabalhabilidade (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009).

Historicamente a *Cryptomeria* foi introduzida no Brasil pela Companhia Melhoramento, sendo implantada em Caieiras, no estado de São Paulo, e em Camanducaia na Serra da Mantiqueira, sul de Minas Gerais; utilizada para fins ornamentais, paisagísticos e cerca viva (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009). Para Carvalho (2001) a *Cryptomeria* é uma alternativa para plantios florestais, pois estudos demonstram um Incremento Médio Anual (IMA) de até 45 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

A EMBRAPA (1988) recomenda que os plantios sejam feitos em regiões com altitudes acima de 800 m no estado do Paraná, já em Santa Catarina, os plantios devem ser feitos em regiões de 600 m com solos profundos e férteis, com disponibilidade de água o ano todo. Além disso, segundo Alves *et al.* (1984 *apud* TRIANOSKI *et al.* 2013), o crescimento ótimo da espécie ocorre entre temperaturas médias de 12 a 14°C e precipitação média acima de 2000 mm.

Dobner Junior *et al.* (2013) relatam que um povoamento de *C. japonica*, aos 25 anos, com 1.666 árvores por hectare, possui uma área basal de 100,7 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; e estoque volumétrico de 1.075 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Esse povoamento está localizado no sul do país, em Campo Belo do Sul – SC; nessa mesma região, uma área experimental com *P. taeda*, aos 27 anos, apresentou uma área basal menor, cerca de 80 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Outros estudos relataram que a espécie é sensível à qualidade do sítio, podendo esses valores ter variações. (SHIMIZU; MAIOCHI, 2007).

Quando o contexto é sobre polpa celulósica e produção do papel, Pereira, Higa e Shimizu (2003) sugerem que a madeira da *C. japonica* seja utilizada para polpas não branqueáveis, ou seja, papéis tipo kraft (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003).

### 3.2 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS E DENSIDADE DA MADEIRA DE *C. japonica*

Segundo Colodette (1982 *apud* SANTOS *et al.* 2000) o cedrinho japonês possui, em média, traqueídeos com comprimento de 1,87 mm no cerne aumentando para 2,56 mm no alburno, largura média de 31  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lúmen de 21,80  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 4,80  $\mu\text{m}$ .

Estudo desenvolvido por Pereira, Higa e Shimizu, (2003), com a madeira *C. japonica* aos 22 anos de idade, demonstrou que a espécie possui traqueídeos com comprimento médio de 2,21 mm, largura de 30,1  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lúmen de 19,2  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 5,5  $\mu\text{m}$ .

Já Carneiro, Bittencourt e Muniz (2009), encontraram valores médios para comprimento do traqueídeo de 2,15 mm, largura de 29,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lúmen tem valor de 18,6  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 5,3  $\mu\text{m}$ , em árvores com 14 anos de idade. Os valores entre os estudos estão muito próximos, sendo que essas variações podem ser influenciadas pela idade das árvores utilizadas.

Segundo Alves *et al.* (2011) as variações nas dimensões das fibras (no caso de folhosas, traqueídeos no caso de coníferas) têm influência na qualidade da polpa e no papel, “fibras” maiores formam papel resistente ao rasgo, já “fibras” menores propiciam uma melhor formação do papel.

A densidade básica da madeira de *C. japonica* varia entre 0,255  $\text{g.cm}^{-3}$  a 0,385  $\text{g.cm}^{-3}$ , para árvores de 14 e 22 anos, respectivamente, sendo uma madeira leve e de boa trabalhabilidade (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003; CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009; TRIANOSKI *et al.*, 2013).

Para a produção de papel e celulose, de acordo com Alves *et al.* (2011) a espécie deve ter densidade uniforme, sendo que as densidades mais elevadas propiciam maior produtividade em razão de maior carga por volume do digestor, em contrapartida, madeiras mais densas causam perdas de características para produção de papel de impressão.

### 3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *C. japonica*

A composição química da madeira é muito importante para definir a escolha da espécie para o processo de polpação, ela é um dos fatores determinantes para a melhor condição de

cozimento. As análises químicas são consideradas como conhecimento básico para qualificação da madeira (GOMIDE *et al.*, 2010). Os componentes químicos são celulose, hemicelulose (polioses), lignina, extrativos e elementos inorgânicos; eles diferem entre espécies e são influenciados por vários fatores (KLOCK *et al.*, 2005).

Quanto à composição química da espécie *C. japonica*, Pereira, Higa e Shimizu (2003) constataram que a madeira é composta de 62,5% de holocelulose (celulose e hemicelulose), 32,7% de lignina e 4,9% de extrativos; esses dados foram comparados com o trabalho de Colodette (1982) os quais foram semelhantes, cerca de 65,6% para holocelulose e 32,7% para lignina.

### 3.4 PROCESSO DE POLPAÇÃO KRAFT

Como a madeira é formada por fibras interpostas em camadas, ligadas pela lignina; o processo de polpação pode ser definido como a separação das fibras da madeira com auxílio de energia química e/ou mecânica. Sendo assim, os processos de polpação são classificados de acordo com o rendimento ou energia empregada (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

Existem processos de alto rendimento, como as pastas mecânicas, normalmente utilizando pedras ou desfibrador de disco; o processo semi-químico que se dá com obtenção de pasta primeiramente utilizando produto químico e no final do processo é usado um tratamento mecânico e o processo exclusivamente químico, o qual merece destaque o tipo kraft (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

O processo kraft atua nos cavacos de madeira com dois reagentes, hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), para dissolver a lignina e liberar as fibras que são os principais constituintes da celulose marrom. Essa celulose, além de ser escura, é opaca e muito resistente; podendo ser branqueada ou não, dependendo da utilização do papel (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

Existem muitas variáveis que influenciam no rendimento e na qualidade final da celulose, por exemplo, a matéria-prima (espécie, tipo de fibra, densidade); licor de cozimento (solução de NaOH e Na<sub>2</sub>S); tempo e temperatura do cozimento, essas variáveis juntas são chamadas de fator H; tipos de digestores (contínuo ou batch) (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

De acordo com Klock, Andrade e Hernandez (2013), o processo kraft pode ser descrito da seguinte forma: o cozimento é feito em digestor contínuo ou em batelada. Em batelada: os

cavacos e licor são colocados no digestor, aquecidos e há circulação forçada do licor entre os cavacos. Após o tempo de impregnação que varia de uma hora, a uma hora e meia de cozimento, quando a temperatura máxima é atingida o licor já impregnou nos cavacos; o cozimento continua por cerca de duas horas para completar as reações. Após o conteúdo é descarregado em tanques, sob pressão, onde os cavacos são desintegrados em fibras e o vapor é condensado em água para lavagem da polpa.

Em digestor contínuo: os cavacos passam, primeiramente, através de um vaso com vapor, onde ar e outras substâncias não condensáveis são retirados, além disso o vapor é utilizado para aumentar a temperatura dos cavacos e também o teor de umidade dos mesmos, depois são pré-aquecidos e com licor de cozimento entram no digestor contínuo, onde se move através de uma zona de temperatura intermediária, de 115-120°C, para permitir uma penetração ideal. Após o tempo de cozimento que varia de acordo com o fator H, o licor é retirado para um tanque de baixa pressão e a polpa é esfriada, abaixo de 100°C, com licor frio para evitar danos mecânicos nas fibras. A polpa cozida é separada do licor residual num processo cuidadoso e controlado conhecido por lavagem do estoque marrom (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

Esse processo tem como principal vantagem a recuperação dos produtos químicos utilizados no início, a partir de um subproduto chamado de licor negro; porém como desvantagens apresentam o alto custo de implantação e branqueamento, e odores dos gases resultantes (KLOCK, 2016).

Após a obtenção da pasta, é feita uma lavagem da mesma, para separação da parte fibrosa, que fica em suspensão do restante que está dissolvido no licor. Essa etapa é muito importante, porque o licor residual contido junto às fibras pode contaminar a pasta durante outros processos; além de recuperar o máximo de reagentes químicos utilizados no início (KLOCK, 2016).

Além da separação dos resíduos solúveis, há também a necessidade de separar as impurezas sólidas, como cavacos não cozidos, areia, entre outras. As impurezas de grandes dimensões são retiradas por depuradores, enquanto as menores são retiradas por limpadores (KLOCK, 2016).

Outro processamento que pode ser feito é o branqueamento da pasta, ele tem como objetivo melhorar as propriedades de alvura, limpeza e pureza química da pasta celulósica (KLOCK, 2016). Porém, é mais utilizado em polpas de espécies folhosas, como o eucalipto, já

em coníferas como pinus, por exemplo, esse processo é pouco utilizado, já que se destina a papéis de alta resistência, como embalagens.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 COLETA DO MATERIAL

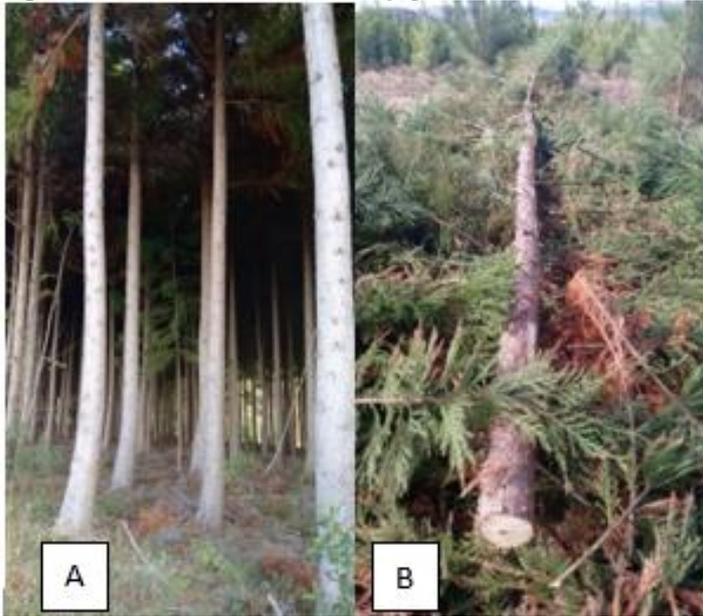
A coleta da madeira de *Cryptomeria japonica* foi realizada no município de Campo Belo do Sul/SC, em um plantio experimental pertencente à empresa Florestal Gateados Ltda. (Figura 1). Foram abatidas três árvores com 13 anos de idade, que apresentavam diâmetro médio de 15,80 cm e altura média de 13,73 m. O plantio havia sido realizado no ano de 2004, e recebeu o trato silvicultural de poda até a altura de 5,8 m, porém não recebeu nenhum desbaste até a data da coleta (Figura 2).

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



Fonte: Google Maps (2017)

Figura 2 – A) Povoamento de *C. japonica* e B) Abate das árvores



Fonte: O Autor.

Das três árvores foram retirados discos nas seguintes alturas: 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, ou seja, diâmetro de ponta fina com até 8 cm, para medição dos diâmetros e a determinação da densidade básica e verde da madeira, e sua posterior ponderação (Figura 3). Para morfologia dos traqueídeos utilizou-se um disco do DAP. Já para o processo de polpação e composição química foram utilizados cavacos obtidos dos segundos e terceiros toretes (1 metro) de cada árvore abatida, que geraram uma amostra composta.

Figura 3 – Discos das diferentes alturas ao longo do fuste de três árvores de *C. japonica*



Fonte: O Autor.

Após a coleta os materiais foram transportados para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, onde foram conduzidas as demais etapas do estudo.

## 4.2 DENSIDADE BÁSICA E VERDE DA MADEIRA

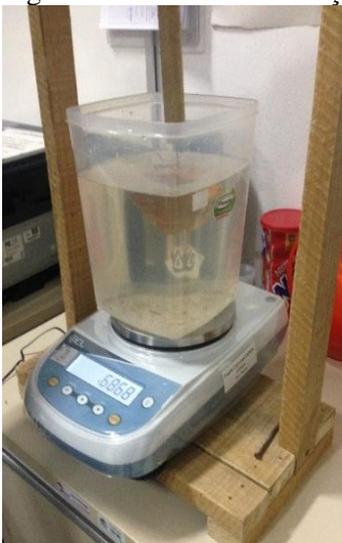
A densidade básica da madeira foi determinada por dois métodos distintos, ambos normatizados pela NBR 11941:2003, sendo um através de discos (balança hidrostática) e outro por meio de cavacos (máximo teor de umidade). Para os discos também foi determinada a densidade verde.

### 4.2.1 Densidade básica e verde – discos

Para determinação da densidade básica e verde utilizaram-se os discos retirados nas posições de 0, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, os quais foram seccionados em duas cunhas, simetricamente opostas, conservando as mesmas em água até a completa saturação destas.

Em seguida foi determinado massa e volume verde para cada uma das cunhas, através do método de balança hidrostática (Figura 4), segundo a norma NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2003).

Figura 4 – Método da balança hidrostática para obtenção do volume verde



Fonte: O Autor.

Após a obtenção da massa e volume verde, as cunhas foram submetidas a secagem a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , em estufa com circulação forçada de ar, por aproximadamente 24 h, até peso constante. Após este período foi obtido massa seca de cada cunha.

A partir dos valores massa seca e volume verde, calculou-se a densidade básica através da Equação 1. Já a densidade da madeira verde foi calculada com base no peso e volume verde, conforme a Equação 2.

$$D_b = \frac{P_s}{V_v} \quad (1)$$

Em que:  $D_b$  – densidade básica, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $P_s$  – peso seco, em g; e  $V_v$  – volume verde, em  $\text{cm}^3$ .

$$D_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (2)$$

Em que:  $D_v$  – densidade verde, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $P_v$  – peso verde, em g; e  $V_v$  – volume verde, em  $\text{cm}^3$ .

Após a obtenção dos valores de densidade em cada posição (através da média das duas cunhas), foram calculadas a densidade básica e verde ponderadas, utilizando os diâmetros dos discos nas diferentes alturas e sua respectiva densidade, conforme as Equações 3 e 4, respectivamente.

$$D_{bp} = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{dap}^2)(d_B + d_{dap}) + (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2)(d_{dap} + d_{25\%}) + (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2)(d_{25\%} + d_{50\%}) + (D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)(d_{50\%} + d_{75\%}) + (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2)(d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (3)$$

Em que:  $D_{bp}$  – densidade básica ponderada, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $D(\text{base})$ ,  $D(\text{dap})$ ,  $D(25\%)$ ,  $D(50\%)$ ,  $D(75\%)$  e  $D(100\%)$  – diâmetros dos discos em diferentes alturas, em cm; e  $d(\text{base})$ ,  $d(\text{dap})$ ,  $d(25\%)$ ,  $d(50\%)$ ,  $d(75\%)$  e  $d(100\%)$  – densidade básica em diferentes alturas, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

$$D_{vp} = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{dap}^2)(d_B + d_{dap}) + (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2)(d_{dap} + d_{25\%}) + (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2)(d_{25\%} + d_{50\%}) + (D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)(d_{50\%} + d_{75\%}) + (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2)(d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{dap}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (4)$$

Em que:  $D_{vp}$  – densidade verde ponderada, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $D(\text{base})$ ,  $D(\text{dap})$ ,  $D(25\%)$ ,  $D(50\%)$ ,  $D(75\%)$  e  $D(100\%)$  – diâmetros dos discos em diferentes alturas, em cm; e  $d(\text{base})$ ,  $d(\text{dap})$ ,  $d(25\%)$ ,  $d(50\%)$ ,  $d(75\%)$  e  $d(100\%)$  – densidade saturada em diferentes alturas, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

#### 4.2.2 Densidade básica – cavacos

Para determinação da densidade por meio dos cavacos, primeiramente as cunhas sobressalentes das posições (0, DAP, 25, 50, 75 e 100%) utilizadas para determinação pelos discos foram transformadas em cavacos. Foi obtida uma amostra composta para cada árvore.

As amostras compostas de cavacos de cada árvore foram imersas em água para completa saturação, pois foi empregado o método do máximo teor de umidade, conforme a norma NBR

11941:2003. O cálculo da densidade básica dos cavacos foi obtido pela Equação 5, a partir de 10 repetições.

$$D_b = \frac{1}{\frac{M_u}{M_s} - 0,346} \quad (5)$$

Em que:  $D_b$  – densidade básica dos cavacos, em  $\text{g/cm}^3$ .  $M_u$  – massa úmida, em g.  $M_s$  – massa seca, em g.

#### 4.3 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Para a observação dos elementos anatômicos da madeira foram utilizados os discos retirados da altura referente ao DAP, destes, confeccionaram-se pequenos fragmentos, em forma de palitos, para maceração (Figura 5).

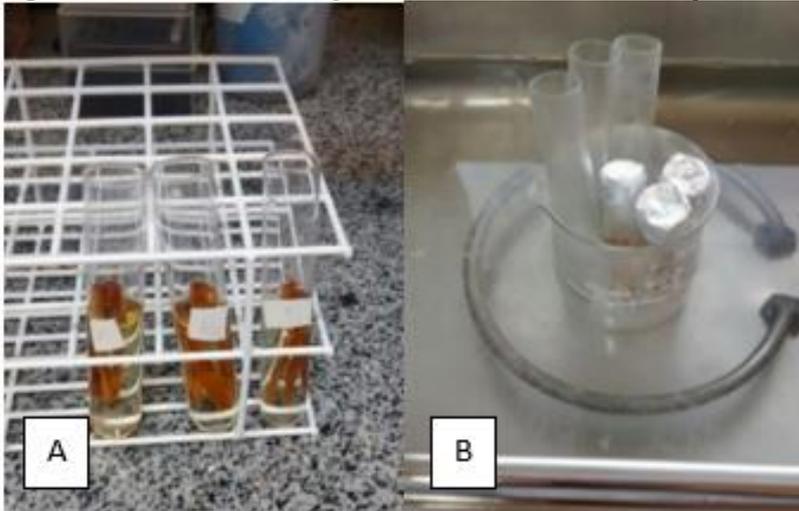
Figura 5 – Pequenos palitos de madeira de *C. japonica*



Fonte: O Autor.

Os palitos foram submetidos ao processo de maceração em tubos de ensaio contendo ácido nítrico e ácido acético, na proporção 5:2:1 (ácido acético, ácido nítrico e água, respectivamente), em banho-maria a  $100^{\circ}\text{C}$  por uma hora, até a individualização dos elementos da madeira (Figura 6).

Figura 6 –A) Tubos com os palitos de madeira. B) Maceração em banho-maria

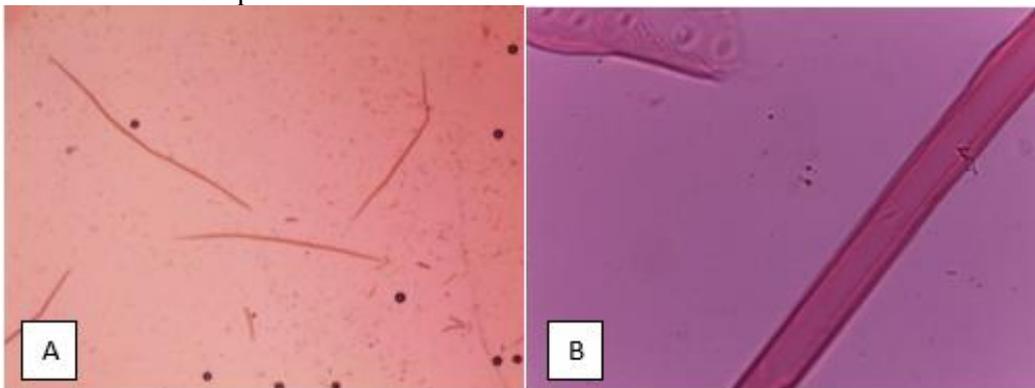


Fonte: O Autor.

Depois de finalizar a maceração o material foi lavado em água destilada até remoção completa das substâncias utilizadas no processo. Na sequência foram montadas lâminas com adição de 1 gota de safranina, 1 gota de glicerina e 1 gota de água.

De cada árvore foram medidos 35 traqueídeos, totalizando 105 repetições, dos seguintes parâmetros: comprimento (C), largura (L) e diâmetro do lúmen (DL), em microscópio e lupa, dotados de uma câmera digital acoplada, e software específico, para aquisição das imagens em computador. Após, por meio do *software Image Pro Plus* foram realizadas as medições dos traqueídeos (Figura 7).

Figura 7 – A) Imagens de comprimento dos traqueídeos de *C. japonica* pelo *software* ToupView com auxílio da Lupa. B) Imagens da largura dos traqueídeos de *C. japonica* pelo *software* LAS EZ com auxílio do microscópio.



Fonte: O Autor.

A partir das medições dos parâmetros (comprimento, largura e diâmetro do lúmen) foram calculadas as seguintes relações para cada elemento, conforme as Equações abaixo:

$$E = \left( \frac{L - DL}{2} \right) \quad (6)$$

$$FP = \left( \frac{2.E}{L} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

$$CF = \left( \frac{DL}{L} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

$$IE = \left( \frac{C}{\frac{L}{1000}} \right) \quad (9)$$

$$IR = \left( \frac{2.E}{DL} \right) \quad (10)$$

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

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A determinação da composição química da madeira foi realizada em triplicata, para os seguintes compostos: 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. Essa etapa de caracterização química foi realizada no Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal de Santa Maria.

Para tal análise foram utilizados cavacos obtidos dos segundo e terceiro toretes das três árvores (amostra composta), os quais haviam sido picados (em picador industrial) para condução do processo de polpação. Os cavacos foram transformados em serragem utilizando moinho do tipo *Willey* (Figura 8) e classificados em peneiras vibratórias, selecionando-se a fração que ficou retida na peneira de 60 *mesh* (entre 40 e 60 *mesh*).

Figura 8 – Moinho tipo *Willey* para transformação dos cavacos de *C. japonica* em serragem



Fonte: O autor.

#### 4.4.1 Determinação do Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade foi conduzida seguindo a norma TAPPI (T210 cm – 93), na qual placas de petri foram aquecidas em estufa a 105°C por oito horas para posterior pesagem com precisão. Na sequência foram pesadas 2 g da amostra de serragem seca ao ar. As placas junto com a serragem foram colocadas novamente em estufa a 105°C por mais oito horas para secagem completa, que posteriormente foram resfriadas no dessecador e pesadas com balança analítica. O teor de umidade foi obtido através da Equação 11:

$$TU = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (11)$$

Em que: TU – teor de umidade, em %; P1 – peso da amostra seco ao ar, em g; P2 – peso da amostra seco em estufa, em g.

#### 4.4.2 Determinação do Teor de Cinzas

Para determinação do teor de cinzas foram utilizados cadinhos de porcelana que foram mantidos em mufla por três horas a temperatura de 525°C para obtenção da massa seca, para na sequência adicionar 2 g da amostra absolutamente seca e inseri-las novamente na mufla a 525°C por mais três horas para a amostra ser incinerada. Após as três horas, a mufla foi desligada e as amostras ficaram dentro por 8 horas para resfriamento parcial, e depois no dessecador para resfriamento total. O teor de cinzas foi determinado pela Equação 12:

$$TC = \frac{PC}{P} \times 100 \quad (12)$$

Em que: TC – teor de cinzas, em %; PC – peso de cinzas, em g; P – peso da amostra absolutamente seca, em g.

#### 4.4.3 Determinação do Teor de Extrativos Totais

Para a determinação do teor de extrativos totais pesou-se 2 g de amostra absolutamente seca em balança analítica e transferida para cartuchos de extração que foram levados para um extrator *Soxhlet*, onde permaneceram por sete horas a partir do primeiro refluxo com solução de 170 ml de álcool etílico e tolueno na proporção 1:2, após extraiu-se, somente com álcool etílico 95% por mais cinco horas.

Após a extração, as amostras foram lavadas e filtradas em bomba de vácuo com 300 ml de água deionizada quente; em seguida, foram transferidas para béqueres com 400 ml de água deionizada e colocados em banho-maria a 100°C por uma hora. Por fim, as amostras foram lavadas e filtradas com a bomba de vácuo com 100 ml de água deionizada quente e colocadas para secagem ao ar, por 24 h. Depois de pesados, os béqueres foram colocados em estufa por 24 h a temperatura de 105°C. O teor de extrativos totais foi calculado a partir da Equação 13.

$$TE = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad (13)$$

Em que: TE – teor de extrativos totais, em %; P1 – peso da amostra seco ao ar, em g; P2 – peso da amostra seco em estufa, em g.

#### 4.4.4 Determinação da Lignina *Klason*

Para determinação do teor de lignina *Klason* foram utilizadas as amostras livres de extrativos da etapa anterior. Pesou-se 1 g da amostra e colocou-se em béquer de 600 ml com 15 ml de ácido sulfúrico 72%. Essa mistura foi colocada em banho-maria por duas horas a 20°C, após foi adicionado 560 ml de água deionizada e mantido em banho-maria por quatro horas a uma temperatura de 90°C. A amostra foi colocada em um cadinho filtrante o qual foi lavado com 560 ml de água quente deionizada em bomba de vácuo, por fim a amostra foi levada a estufa a 105°C por oito horas. A amostra foi resfriada em dessecador e pesada em balança analítica. A determinação do teor de lignina se deu através da Equação 14.

$$TL = \frac{P1}{P2} \times 100 \quad (14)$$

Em que: TL – teor de lignina, em %; P1 – peso do resíduo, em g; P2 – peso inicial da amostra livre de extrativos, em g.

A equação 14 considera o teor de extrativos incluso no teor de lignina residual, para isso realiza-se a correção do cálculo para se obter o valor real de teor de lignina da amostra, de acordo com a Equação 15.

$$\%Lcor = \frac{P1}{P2} \times (100 - TE) \quad (15)$$

Em que: %Lcor – teor de lignina corrigido, em %; P1 – peso do resíduo, em g; P2 – peso da amostra inicial livre de extrativos, em g; TE – teor de extrativos totais, em %.

#### 4.4.5 Determinação da Holocelulose

O teor de holocelulose foi calculado a partir da subtração de 100% dos componentes da madeira, dos componentes anteriormente calculados. Conforme a Equação 16.

$$\text{Holocelulose} = 100 - (TC + TE + TL) \quad (16)$$

Em que: Holocelulose em %; TC – teor de cinzas, em %; TE – teor de extrativos, em %; TL – teor de lignina, em %.

### 4.5 PROCESSO DE POLPAÇÃO

Os toretes (segundo e terceiro de cada árvore) de madeira foram transformados em cavacos em picador industrial em uma serraria localizada no município de Curitibanos/SC, gerando uma amostra composta das três árvores. Os cavacos obtidos foram classificados de acordo com a norma SCAN-CM 40:94, com a utilização de um classificador laboratorial (Figura 9), selecionando-se os cavacos que passaram pela bandeja de barra de 8 mm e ficaram retidos na placa perfurada de 7 mm de diâmetro. Na sequência os cavacos passaram por um processo de secagem em estufa por um dia a 30°C, para diminuição do teor de umidade.

Figura 9 – Classificador de cavacos, pertencente ao Laboratório de Recursos Florestais da UFSC – Curitibanos/SC.



Fonte: O autor.

Após foi determinado o teor de umidade dos cavacos, pois todos os procedimentos como cálculo de preparo do cozimento, bem como de rendimento levam em conta a quantidade de madeira seca utilizada. A determinação do teor de umidade seguiu a Equação 17.

$$TU = \frac{(PF-PB)}{M} * 100 \quad (17)$$

Em que: TU – teor de umidade, em %; PF – peso final do bécker com a massa seca a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , em g; PB – peso do bécker, em g; M – massa úmida dos cavacos, em g.

As amostras foram submetidas à curva de cozimento, com diferentes níveis de álcali, por meio do processo de polpação Kraft em digestor rotativo (Figura 10), realizado em triplicata, conforme a Tabela 1. O digestor utilizado pertence ao Laboratório de Polpa e Papel da Universidade Federal do Paraná. A curva de cozimento tem como objetivo demonstrar a carga alcalina necessária para obter diferentes níveis de deslignificação, os quais são expressos em número kappa.

Figura 10 – A) Digestor rotativo, B) cápsulas para cozimento e C) desfibrilador pertencente ao Laboratório de Polpa e Papel da UFPR, localizado no Campus Botânico – Curitiba/PR.



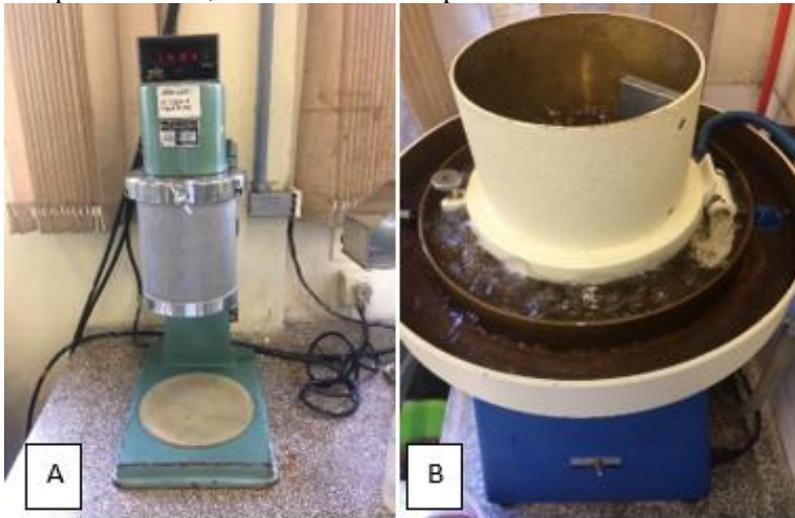
Fonte: O autor.

Tabela 1 – Condições e parâmetros da curva de cozimento pelo processo de polpação Kraft

Parâmetros	Condições
Álcali ativo (% como NaOH)	14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28
Sulfidez (%)	25
Massa seca de cavacos (g)	100,0
Relação licor/madeira	4:1
Temperatura máxima (°C)	170
Fator H	935

Após o processo de polpação, a polpa foi lavada com água até remover todo licor negro visível, em seguida foi desagregada em *hidrapulper* laboratorial, acondicionada em sacos de microfibras e centrifugada. Na sequência, depurou-se a mesma em depurador laboratorial com fenda 0,5 mm (Figura 11B) para obtenção dos rejeitos.

Figura 11 – A) Desagregador de polpa e B) depurador laboratorial, pertencente ao Laboratório de Polpa e Papel da UFPR, localizado no Campus Botânico – Curitiba/PR



Fonte: O autor.

Após a depuração os rejeitos foram coletados na superfície da tela secos em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , para cálculo do teor destes, bem como do rendimento bruto e depurado, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros a serem determinados no processo de polpação Kraft

<b>Parâmetros</b>	<b>Normas/Cálculos</b>
Rendimento bruto (%)	Relação entre massa seca de polpa e massa seca de madeira
Rendimento depurado (%)	Relação entre massa seca de polpa depurada e massa seca de madeira
Teor de rejeitos (%)	Relação entre massa seca de rejeito e massa seca de madeira
Número kappa	TAPPI Methods T 236 om-99
Seletividade	Relação entre rendimento depurado e número kappa

Em que: TAPPI Methods – Technical Association of Pulp and Paper Industry

Com o rendimento depurado obtido e a densidade básica ponderada (método da balança hidrostática) da espécie foi possível calcular o consumo específico de madeira por tonelada de celulose produzida, conforme a Equação 18.

$$CEm = \left( \frac{1}{Db.RD} \right) * 0,9 \quad (18)$$

Em que: CEm – consumo específico da madeira, em  $m^3.tsa^{-1}$ ; Db – densidade básica ponderada,  $g.cm^{-3}$ , RD – rendimento depurado, em decimal.

A partir dos resultados obtidos na curva de cozimento foram ajustadas equações para os parâmetros analisados. Com base nestas foram estimados, para número kappa 35 (polpa branqueável) e 60 (polpa não branqueável), os valores de: álcali ativo (necessário para obter tal valor de número kappa estipulado), rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos, álcali ativo residual e consumo específico de madeira.

O licor negro foi recolhido das cápsulas para determinação do álcali ativo residual e teor de sólidos, conforme Tabela 3. Com base no álcali ativo residual, bem como aplicado, calculou-se o álcali ativo consumido através da Equação 19.

$$AAC = AAA - AAR \quad (19)$$

Em que: AAC – álcali ativo consumido, em  $g.L^{-1}$ ; AAA – álcali ativo aplicado, em  $g.L^{-1}$ ; AAR – álcali ativo residual, em  $g.L^{-1}$ .

Tabela 3 – Parâmetros determinados no licor negro

Parâmetros	Normas/Cálculos
Álcali ativo residual (NaOH e pH)	Método descrito por Segura (2012)
Teor de sólidos totais	TAPPI Methods T 650 om-89

Em que: TAPPI Methods – Technical Association of Pulp and Paper Industry

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram processados e analisados a partir da construção de uma base de dados no Excel. Os valores obtidos para a densidade, composição química, morfologia dos traqueídeos e cozimentos foram apenas descritivos para a espécie analisada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DENSIDADE BÁSICA E VERDE DA MADEIRA

#### 5.1.1 Densidade básica e verde – discos

Na Tabela 4 podem ser observados os valores médios e ponderados de densidade básica e verde da madeira de *Cryptomeria japonica*.

Tabela 4 – Valores médios e ponderados da densidade básica e verde da madeira de *C. japonica*

<b>Parâmetro</b>	<b>Média</b> <b>(g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Ponderada</b> <b>(g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>DP</b> <b>(g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>CV</b> <b>(%)</b>
<b>Densidade básica</b>	0,320	0,314	0,028	8,85
<b>Densidade verde</b>	1,048	1,027	0,058	6,10

Em que: DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

Os valores encontrados para a densidade básica média (0,320 g.cm<sup>-3</sup>) e ponderada (0,314 g.cm<sup>-3</sup>) estão dentro da faixa observada por outros autores para a espécie de *C. japonica*, variando de 0,255 g.cm<sup>-3</sup> (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009) e 0,360 g.cm<sup>-3</sup> (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003).

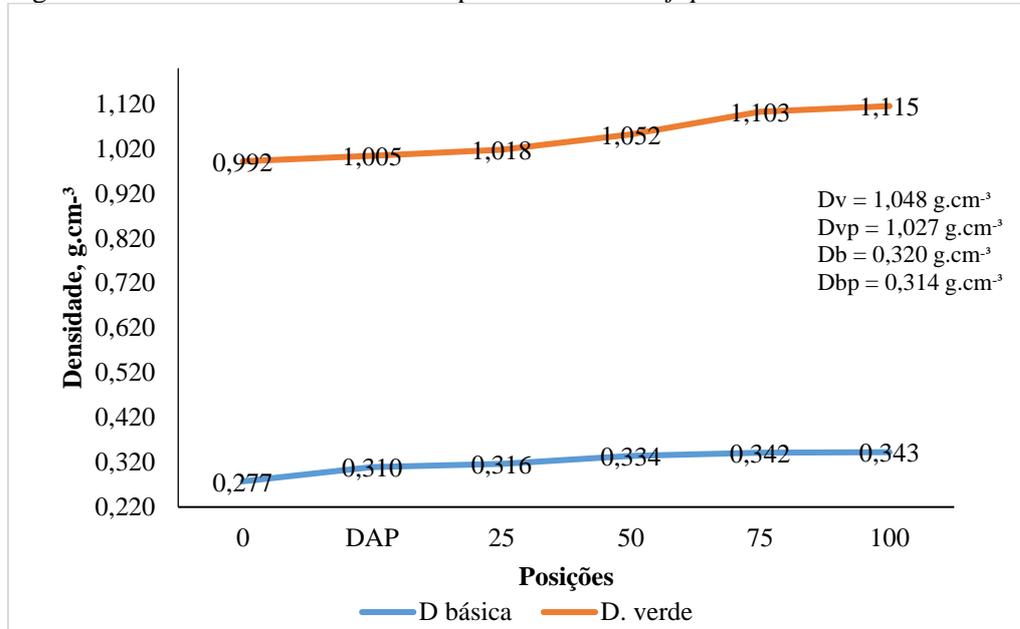
Já para a densidade verde (aparente saturada) média e ponderada observaram-se os valores de 1,048 e 1,027 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Tal parâmetro indica a densidade da madeira recém-cortada, a qual apresenta seu volume máximo. Esse parâmetro é utilizado principalmente para calcular o peso dos veículos de extração e transporte dos reflorestamentos até as empresas florestais (NÚÑEZ, 2007).

Entre as posições longitudinais, os valores de densidade, tanto básica quanto verde, tendem a aumentar ao longo do fuste, conforme a Figura 12. Esse comportamento foi encontrado por outros autores para as madeiras de coníferas, com aumento até o DAP ou na posição de 50%, por exemplo, *Pinus taeda* de 16 anos (0,409 a 0,349 g.cm<sup>-3</sup>) (XAVIER, 2009), ou *Pinus elliottii* de 14 anos (0,370 a 0,322 g.cm<sup>-3</sup>) (MELO *et al.*, 2013).

Esse comportamento de aumento da densidade ao longo do fuste também foi encontrado por Gonçalves *et al.* (2009) para híbridos de eucalipto (0,50 g.cm<sup>-3</sup> na base, 0,55 g.cm<sup>-3</sup> no topo). Palermo *et al.* (2006) encontraram um comportamento distinto para *Pinus elliottii*, sendo que a densidade aumentou até o DAP, diminuiu até 50% da altura comercial e na altura de 75%

aumenta novamente; acredita-se que o aumento da densidade nesse ponto foi causado pela formação da copa, pois na formação dos ramos ocorre modificações na anatomia da madeira as quais podem elevar a densidade.

Figura 12 – Densidade básica e verde ponderadas da *C. japonica*



Em que: Dbp – Densidade básica ponderada; Dvp – Densidade verde ponderada; Db – Densidade básica; Dv – Densidade verde.

Segundo Segura (2012) a densidade básica é um importante parâmetro de qualidade da madeira, pois ela está correlacionada com os processos de polpação e com as propriedades mecânicas da madeira, já a densidade aparente está diretamente ligada à indústria de celulose e sua capacidade de produção.

Segundo Dias e Simonelli (2013), a faixa ideal de densidade básica para produção de celulose é de 0,40 a 0,55 g.cm<sup>-3</sup>, que possibilita obtenção de um ótimo rendimento, porém essa questão da densidade é uma discussão em aberto quando se fala em produção de celulose. Segura (2018), por exemplo, é defensor de madeiras com densidades mais elevadas. As madeiras com densidades mais baixas diminuem o rendimento, aumentam o consumo de reagentes e teores de rejeitos, ao passo que, madeiras com densidades maiores, dificultam a picagem em cavacos, desgastando as facas picadoras, além de dificultar a impregnação do licor, levando a uma baixa produção de polpa depurada (DIAS; SIMONELLI, 2013).

O valor observado para a densidade básica da madeira de *C. japonica* é baixo, porém autores como Fantuzzi Neto (2012) afirmam que madeiras de alta e baixa densidade podem ter os mesmos rendimentos, quando houver cuidados em relação ao fator H utilizado, sendo assim,

o rendimento da produção é influenciado também pelos parâmetros de cozimento, além das características físicas da espécie.

Quanto à densidade verde, sua principal importância é no abastecimento e compra/venda de madeiras pelas empresas. Isso porque as transações comerciais de madeira entre produtores e empresas são feitas por peso ou volume, dessa forma é importante saber relacionar peso, volume e densidade da madeira, a fim de facilitar a compra e venda e não ocorrer perdas por ambas as partes (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Para tanto, ter conhecimento da densidade verde da madeira é muito importante, uma vez que ela representa o ponto de saturação máximo da árvore, e esse teor de umidade influencia tanto no peso como no volume da madeira (LOUSADA *et al.*, 2008). Desta forma, pensando na aplicação prática, conhecendo a densidade verde, quando um caminhão de madeira é pesado, torna-se possível estimar o volume de madeira da carga. Pois nos dias atuais a principal forma de comércio de madeira é via pesagem em balança por ser mais rápido e prático.

### 5.1.2 Densidade básica – cavacos

Na Tabela 5 podem ser observados os valores médios da densidade básica dos cavacos da madeira de *C. japonica*.

Tabela 5 – Densidade básica dos cavacos da madeira de *C. japonica*

	Densidade dos cavacos (g.cm <sup>-3</sup> )
<b>Média</b>	<b>0,284</b>
<b>DP</b>	<b>0,022</b>
<b>CV (%)</b>	<b>7,701</b>

Em que: DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

Os valores de densidade básica encontrados para madeira na forma de cavacos foi aproximadamente 12% menor do que na forma cunhas ( $Db=0,320$ ;  $Dbp=0,314$  g.cm<sup>-3</sup>). Acredita-se que a densidade dos cavacos seja influenciada pela espessura dos mesmos, além disso, uma explicação lógica para seu valor ser abaixo da densidade básica da madeira na forma de cunhas está relacionada com a metodologia empregada; para o cálculo da densidade da madeira foi utilizado cunhas ao longo do fuste das árvores, sendo que estas possuem maiores

quantidades de madeira adulta, sendo esta mais densa, já os cavacos são uma mistura de madeira adulta e juvenil mais homogênea, resultando assim numa diminuição da densidade.

Essa diferença nos resultados em virtude da forma de determinação também foi observada por outros autores, como Segura (2015) que encontrou uma diferença aproximada de 15% entre a densidade dos cavacos e a densidade básica feita a partir das cunhas.

Em um estudo sobre coníferas, Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971) encontraram valores da densidade dos cavacos superiores ao do presente estudo: *Pinus elliottii* (0,316 g.cm<sup>-3</sup>), Araucária (0,420 g.cm<sup>-3</sup>) e *Pinus taeda* (0,347 g.cm<sup>-3</sup>), enquanto a *C. japonica* apresentou média de 0,284 g.cm<sup>-3</sup>. Isso se deve ao fato de que essas espécies já possuem uma densidade maior que a *C. japonica* naturalmente.

## 5.2 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Os valores encontrados para a morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. japonica* podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. japonica*.

	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (µm)</b>	<b>Diâmetro do lúmen (µm)</b>	<b>Espessura da parede (µm)</b>
<b>Média</b>	2,18	25,06	15,89	4,59
<b>DP</b>	0,15	3,03	3,92	1,22
<b>CV(%)</b>	6,76	12,19	24,67	26,55

Em que: DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

As coníferas, em geral, têm traqueídeos maiores que as fibras de folhosas, com variação de 1 até 4 mm de comprimento, sendo que a posição dos mesmos ao longo do fuste influencia, bem como o sentido medula-casca, com tendência de aumento (AJOSTROM, 1993 *apud* BALLONI, 2009).

O valor médio obtido para o comprimento dos traqueídeos (2,18 mm) está condizente com a literatura. Carneiro *et al.* (2009) ao avaliarem a madeira de *C. japonica* de mesma idade, no Planalto Catarinense, encontraram o valor médio de comprimento dos traqueídeos de 2,15 mm. Já Pereira *et al.* (2003) avaliaram a mesma espécie em Colombo (PR), com 22 anos de idade, encontraram um valor de 2,21 mm para o comprimento médio dos traqueídeos. Esse parâmetro influencia no índice de enfiamento do papel.

Os valores médios de largura do traqueídeo e diâmetro de lúmen (25,06 e 15,89  $\mu\text{m}$ , respectivamente) estão abaixo do citado na literatura; Carneiro *et al.* (2009) encontraram largura média de 29,40  $\mu\text{m}$ , já Pereira *et al.* (2003) 30,10  $\mu\text{m}$  para a mesma espécie. Para o diâmetro do lúmen, Carneiro *et al.* (2009) e Pereira *et al.* (2003) encontraram valores 18,60 e 19,20  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O diâmetro do lúmen influencia tanto no coeficiente de flexibilidade, quanto no índice de Runkel e a largura está relacionada com o índice de enfieltramento e coeficiente de flexibilidade.

A espessura média da parede celular da madeira de *C. japonica* é de 4,59  $\mu\text{m}$ , próximos aos valores encontrados na literatura por Pereira *et al.* (2003) (5,50  $\mu\text{m}$ ) e Carneiro *et al.* (2009) (5,30  $\mu\text{m}$ ) para a mesma espécie. Esse parâmetro tem relação com a flexibilidade do traqueídeo, sendo que paredes mais finas conferem maior flexibilidade e menor resistência mecânica (MENEGAZZO, 2008).

Com base na morfologia dos traqueídeos foram determinados os valores referentes aos indicadores da qualidade da polpa celulósica, por meio da fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfieltramento, que podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Indicadores de qualidade da polpa celulósica obtidos a partir da morfologia dos traqueídeos da madeira de *C. japonica*.

	<b>Fração parede (%)</b>	<b>Coefficiente de flexibilidade (%)</b>	<b>Índice de Runkel</b>	<b>Índice de enfieltramento</b>
<b>Média</b>	36,93	61,23	0,61	87,78
<b>DP</b>	10,14	11,61	0,27	11,03
<b>CV (%)</b>	27,47	18,96	43,27	12,56

Em que: DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

A morfologia dos traqueídeos pode ser utilizada como uma ferramenta para determinar o potencial de determinada madeira frente à produção de papel, pois tais parâmetros influenciam diretamente nas características e propriedades do mesmo.

O índice de Runkel está associado com a flexibilidade das fibras, conferindo capacidade de união das mesmas, esse parâmetro está relacionado com a tração e o arrebatamento do papel, quanto mais baixo o valor, melhor será o papel quanto à tração e arrebatamento (Nigoski *et al.*, 2012). O valor encontrado para a madeira de *C. japonica* (0,61)

indica que a mesma apresenta boa qualidade para produção de papel, se enquadrando na categoria III (entre 0,50 e 1,00) da classificação adaptada por Vasconcelos (2005).

Segundo Nigoski *et al* (2012), o coeficiente de flexibilidade está relacionado ao grau de colapso das fibras durante o processo da fabricação de papel, quanto maior o valor, maior a resistência à ruptura do papel. O valor encontrado para a madeira de *C. japonica* (61,23%) está na faixa de 50 a 75%, que indica que ela apresentará um colapso parcial dos traqueídeos, com uma boa união e superfície de contato entre os mesmos (NIGOSKI, 2005).

Quanto à fração parede, está relacionada à tração e ao estouro do papel, sendo que valores muito altos conferem baixa resistência, pois os traqueídeos estão mais rígidos. O valor encontrado de fração parede (36,93%) para a madeira de *C. japonica* está na faixa de 35 a 50%, o que corresponde tipo de parede celular média, que apresentará uma rigidez média ao papel (KLOCK; ANDRADE; HERMAMDEZ, 2013). De acordo com Segura (2015), a fração parede está relacionada com a densidade básica, uma vez que seu cálculo utiliza a espessura da parede celular, e esta é influenciada pela densidade. De modo geral, densidades mais baixas apresentam fibras com espessura de parede mais finas, e densidades mais altas apresentam fibras mais espessas com maior ausência de vasos.

O valor de índice de enfiamento (87,78) confere boa qualidade para o papel quanto ao rasgo e arrebatamento. De acordo com Mogollón e Aguilera (2002 *apud* NIGOSKI *et al*, 2012) o índice de enfiamento tem relação com rasgo e arrebatamento, valores acima de 50 conferem boas características do papel quanto ao rasgo.

AMPESSAN *et al.*, (2015) encontraram os seguintes valores de morfologia dos traqueídeos para *Pinus taeda* de 14 anos: 3,4 mm; 46,25  $\mu\text{m}$ , 31,41  $\mu\text{m}$  e 7,42  $\mu\text{m}$  para comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede, respectivamente, todos superiores quando comparados ao do presente estudo; os quais citaram valores de 0,52 para índice de Runkel, 32,73% de fração de parede, 75,70 de índice de enfiamento e 67,27% de coeficiente de flexibilidade. Esses valores, quando comparados ao presente estudo, demonstram que para o índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade e índice de enfiamento as espécies estão enquadradas na mesma classificação, tendo boa qualidade de polpa, já quando comparadas as frações de parede, o *Pinus* apresenta melhor indicador.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Na Tabela 8 podem ser observados os valores médios da caracterização química da madeira de *C. japonica*.

Tabela 8 – Caracterização química da madeira de *C. japonica*

	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
<b>Média</b>	0,32	2,14	31,36	66,18
<b>DP</b>	0,06	1,15	0,18	1,06
<b>CV</b>	18,23	53,76	0,56	1,60

Em que: DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

Os valores obtidos no presente estudo estão consoantes com os citados na literatura, como Pereira *et al.* (2003) que encontraram valores, para a mesma espécie, 4,9% de extrativos, 32,7% de lignina e 62,5% de holocelulose; e Colodette (1982 *apud* PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003) que encontrou valores para lignina de 32,7% e para holocelulose de 65,6%.

Para o processo de polpação, é importante que o valor de lignina seja baixo, pois ele está relacionado com a carga alcalina necessária para o processo e interfere na qualidade da polpa celulósica, o valor de 31,36% é alto quando comparado com as espécies de *Pinus taeda* (27,08%) (ANDRADE, 2006) e *Pinus elliottii* (28,00%) (BALLONI, 2009). Em contrapartida, altos teores de lignina aumentam o subproduto da fábrica que é a recuperação da mesma através do licor negro.

Já o valor de holocelulose deve ser alto, pois está relacionado com o rendimento do processo (VASCONCELOS, 2005). O valor 66,18% está dentro do adequado quando comparado com os valores de holocelulose de *Pinus taeda* (70,43%) (VIVIAN *et al.*, 2015) e *Pinus elliottii* (68,80%) (BALLONI, 2009).

O teor de extrativos também deve ser baixo, uma vez que eles consomem a carga alcalina e podem gerar incrustações nos equipamentos e na polpa celulósica, conhecidos como *pitch*, os quais danificam os equipamentos industriais e interferem no processo e rendimento da polpação (BARBOSA; MALTHA; CRUZ, 2005). O teor de extrativos é baixo quando comparado com *Pinus taeda* (2,37%) (ANDRADE, 2006) e *Pinus elliottii* (3,00%) (BALLONI, 2009), característica desejável para o processo de polpação.

O valor de cinzas é de 0,32%, inferior ao *Pinus oocarpa* (1,26%) (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005) e *Pinus sp.* (0,41%) (MATIAS *et al.*, 2015). Os minerais podem causar problemas como corrosões, entupimentos e incrustações nos equipamentos

industriais, sendo assim, um teor de cinzas baixo é desejável para o processo (FREDDO *et al.*, 1999).

#### 5.4 PROCESSO DE POLPAÇÃO

##### 5.4.1 Parâmetros referentes à polpa celulósica

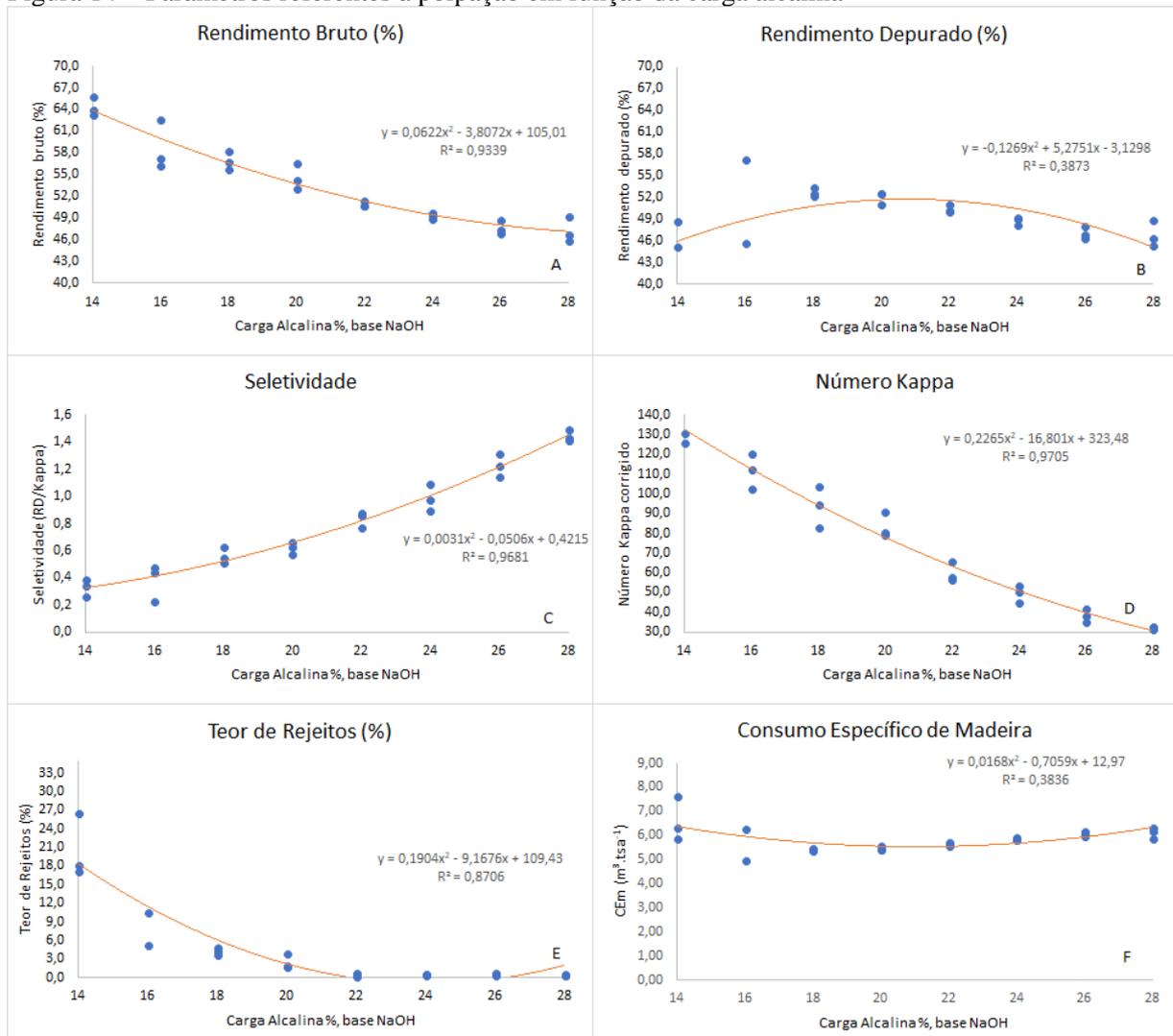
Na Tabela 9 e Figura 14 estão apresentados os valores médios referentes à polpa celulósica obtida da madeira de *C. japonica*. Os valores de rendimento bruto, teor de rejeitos e número kappa apresentam o mesmo comportamento, diminuindo o valor conforme aumenta a carga alcalina aplicada para o cozimento. O rendimento depurado apresenta um comportamento diferente, dependendo do intervalo de carga alcalina, no qual, observa-se que o ponto máximo de rendimento do cozimento é com a carga de 18%.

Tabela 9 – Parâmetros obtidos na curva de cozimento da madeira de *C. japonica*

<b>AA</b> <b>(%)</b>	<b>RB</b> <b>(%)</b>	<b>RD</b> <b>(%)</b>	<b>TR</b> <b>(%)</b>	<b>K</b>	<b>S</b> <b>(RD/K)</b>
14	64,4	43,7	20,7	132,3	0,33
16	58,7	51,5	8,0	112,0	0,38
18	56,9	52,7	4,3	93,9	0,57
20	54,7	52,0	2,6	83,7	0,62
22	51,0	50,5	0,5	60,3	0,84
24	49,4	48,8	0,6	49,6	0,99
26	47,7	47,1	0,6	38,4	1,23
28	47,4	46,8	0,5	32,3	1,45

Em que: RB – rendimento bruto; RD – rendimento depurado; TR – teor de rejeitos; K – número kappa; S - seletividade.

Figura 14 – Parâmetros referentes à polpação em função da carga alcalina



Como esperado, e descrito pela literatura, o rendimento bruto diminui com o aumento da carga alcalina, isso porque o teor de álcali muito alto começa a degradar os carboidratos. O rendimento depurado é crescente até a carga de álcali de 18%, reduzindo na sequência, com o incremento da carga alcalina, que se deve a maior degradação dos carboidratos e remoção de lignina.

O número kappa indica o grau de deslignificação da madeira de acordo com a carga de reagentes aplicada. O menor número kappa obtido para a madeira de *C. japonica* foi de 32,3 com uma carga alcalina de 28% na curva de cozimento. Em comparação, Vivian *et al.* (2015) encontraram número kappa de 38,1 com uma carga de 18% para a madeira de *Pinus taeda*. Comparando na mesma carga aplicada, os autores encontraram número kappa de 14,8 com 26% de álcali, enquanto no presente para a madeira de *C. japonica* encontrou-se 38,4 com os mesmos

26% de álcali. Uma das explicações para essa diferença na deslignificação, quando comparada ao *Pinus*, é devido ao alto teor de lignina que a madeira de *C. japonica* apresenta.

Estudo feito por Andrade (2006) mostra que a espécie *Pinus taeda* apresenta para carga alcalina de 14% rendimento bruto inferior (54,32%) quando comparado ao da *C. japonica* (64,44%), porém quando observado os teores de rejeitos e o rendimento depurado, o *Pinus taeda* se mostra de melhor qualidade, 4,6% e 49,72%, respectivamente. Vivian *et al.* (2015) encontraram, para a carga álcali de 18% a qual apresenta maior rendimento neste estudo, valores inferiores de rendimento bruto e depurado para *Pinus taeda* (51,6% e 51,5%, respectivamente) e *Pinus sylvestris* (49,3% e 48,1%).

Um dos motivos para o rendimento depurado ser muito variável (amplitude de quase 10%) é a dimensão dos cavacos. Segundo Mimms (1993 *apud* ANDRADE 2006) quando os cavacos apresentam dimensões muito grandes ou muito pequenas podem causar problemas durante a impregnação do licor, queda de rendimento e aumento de rejeitos.

Como o processo não é seletivo, além da deslignificação, ocorre a degradação dos carboidratos diminuindo o rendimento. Assim a seletividade é um parâmetro que relaciona o rendimento do processo com o número kappa, sendo que quanto maior for essa relação, maior será o rendimento, com um número kappa baixo, sem perder a qualidade da polpa (SILVA JÚNIOR, 1997).

Gomes (2009) citou que para produção industrial, o número kappa varia entre 50 a 65, nesse contexto, encontrou-se para a espécie de *Pinus taeda* uma seletividade de 0,97 com número kappa de 56,5 e um rendimento depurado de 52,3%. Para essas condições de número kappa, no presente estudo, foram encontrados valores de seletividade entre 0,84 a 0,99, porém com rendimento menor.

Em relação ao consumo específico da madeira, obteve-se valores que variaram de 5,00 m<sup>3</sup> a 7,66 m<sup>3</sup> de madeira por tonelada de celulose, esse parâmetro está relacionado com a densidade, sendo que densidades mais altas vão diminuir o consumo de madeira, também está relacionada com o rendimento depurado, maiores rendimentos diminuem o consumo de madeira para a mesma densidade da espécie.

As equações geradas para cada parâmetro apresentaram um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) elevado, com exceção do rendimento depurado e do consumo específico da madeira, isso demonstra que as variáveis estudadas têm forte dependência em função da carga alcalina aplicada (VASCONCELOS, 2005). Já o rendimento depurado é determinado em função do rendimento bruto e do teor de rejeitos, por isso um R<sup>2</sup> baixo.

Na Tabela 10 podem ser observadas as equações ajustadas a partir dos resultados da curva de cozimento, bem como os respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 10 – Equações ajustadas para os parâmetros de cozimento

<b>Parâmetro</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
K	$K = 0,2265AA^2 - 16,801AA + 323,48$	0,97
RB	$RB = 0,0622AA^2 - 3,8072AA + 105,01$	0,93
RD	$RD = -0,1269AA^2 + 5,2751AA - 3,1298$	0,39
TR	$TR = 0,1904AA^2 - 9,1676AA + 109,43$	0,87
CEm	$CEm = 0,0168AA^2 - 0,7059AA + 12,97$	0,38
AAR	$AAR = 0,0046AA^2 + 1,3472AA - 13,117$	0,96

Em que: AA – álcali ativo, em %; K – número kappa; RB – rendimento bruto, em %; RD – rendimento depurado, em %; TR – teor de rejeitos, em %; CEm – consumo específico de madeira, em  $m^3.tsa^{-1}$ ; AAR – álcali ativo residual, em %.

A partir dessas equações, foram estimados os parâmetros para o número kappa 35, caracterizando a polpa branqueável, e para o número kappa de 60, caracterizando a polpa não branqueável. Os valores estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Estimativa de parâmetros para número kappa 35 e 60.

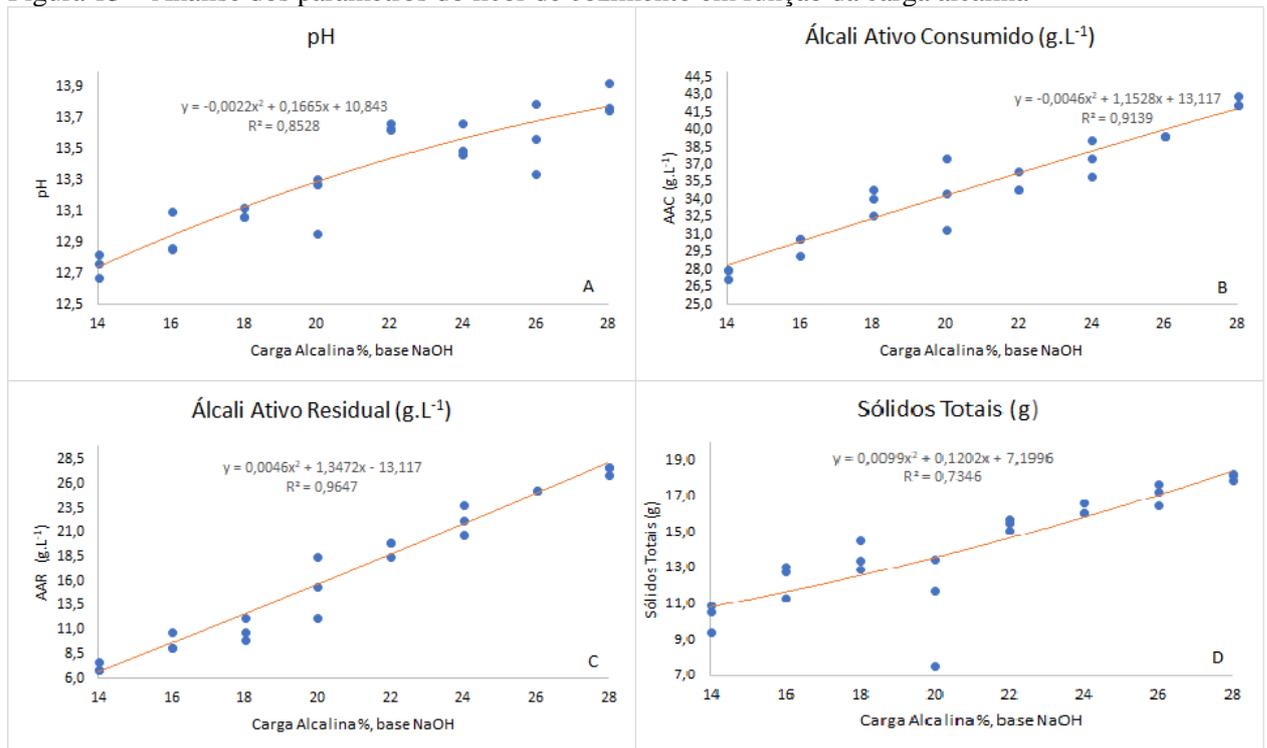
<b>Polpa</b>	<b>K</b>	<b>AA</b> (%)	<b>RB</b> (%)	<b>RD</b> (%)	<b>TR</b> (%)	<b>CEm</b> ( $m^3.tsa^{-1}$ )	<b>AAR</b> (%)
Branqueável	35	27,0	47,6	46,8	0,7	6,16	26,6
Não branqueável	60	22,5	50,8	51,3	-0,5	5,59	19,6

Em que: AA – álcali ativo; K – número kappa; RB – rendimento bruto; RD – rendimento depurado; TR – teor de rejeitos; CEm – consumo específico de madeira; AAR – álcali ativo residual.

#### 5.4.2 Parâmetros referentes ao licor de cozimento

Na Figura 13 podem ser observados os parâmetros referentes ao licor de cozimento, como álcali ativo consumido e residual, pH e teor de sólidos do licor negro, conforme a carga alcalina aplicada.

Figura 13 – Análise dos parâmetros do licor de cozimento em função da carga alcalina



Conforme a Figura 13A, pode-se observar um aumento no pH do licor residual com o aumento da carga alcalina, o qual deve-se manter acima de 11, de acordo com Santos (2005). O AAC (Figura 13B) e o AAR (Figura 13C) apresentam o mesmo comportamento de aumento com a carga alcalina. O AAR do licor deve manter-se na faixa de 5 a 13 g.L<sup>-1</sup>, segundo Lombardi e Padilha (1998 *apud* VIVIAN *et al.*, 2015) para evitar a reprecipitação da lignina sobre a polpa, com base nisso, observa-se que o valor mínimo obtido para AAR (7,59 g.L<sup>-1</sup>) está dentro da normalidade, a medida que aumenta a carga alcalina, aumenta-se o AAR ultrapassando os valores estipulados na literatura, quando ultrapassa a carga alcalina de 20%.

A Figura 13D apresenta o teor de sólidos totais, que aumentam com elevação da carga alcalina aplicada, o que se explica pelo aumento dos compostos do álcali residual, aumento da deslignificação, além da degradação dos carboidratos, principalmente hemiceluloses, o que ocasiona esse aumento de sólidos no licor negro (ALMEIDA, 2003; LONGUE JÚNIOR *et al.*, 2009).

Segundo Vivian *et al.* (2015) o maior teor de sólidos compromete a capacidade de produção dentro de uma fábrica, pois diminui a capacidade de recuperação dos reagentes na caldeira de recuperação. Além disso, a degradação das hemiceluloses diminuiu o rendimento no processo de polpação (LONGUE JÚNIOR *et al.*, 2009).

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a madeira de *Cryptomeria japonica*:

- apresenta densidade básica baixa para produção de celulose, porém não sendo fator determinante para o processo;
- apresenta baixos teores de extrativos e de cinzas, porém alto teor de lignina quando comparado com o gênero *Pinus*, mais usado atualmente para a produção de polpa celulósica; essa característica pode diminuir o rendimento e aumentar o consumo dos reagentes;
- apresenta traqueídeos com comprimento de 2,18 mm; largura de 25,06  $\mu\text{m}$ ; diâmetro do lúmen de 15,89  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 4,59  $\mu\text{m}$ ;
- apresenta bons indicadores de qualidade da polpa celulósica, favoráveis para o processo de polpação, boa qualidade principalmente pelo índice de Runkel (0,61) e de enfeltramento (87,78) e média qualidade para coeficiente de flexibilidade (61,23%) e fração da parede (36,94%);
- apresenta maior rendimento com uma carga de álcali de 18% na curva de cozimento, tendo um rendimento depurado de 52,67%, com número kappa de 93,9, bem como rendimento bruto e teor de rejeitos de 56,94% e 4,28%, respectivamente;

A madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta potencial para a produção de celulose do segmento de fibra longa. Deve-se levar em consideração a falta de estudos de melhoramento genético para a espécie, além de poucos trabalhos feitos com a espécie visando produção de polpa celulósica.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Mesmo com ótimos resultados obtidos, recomenda-se estudos quanto ao melhoramento das características da madeira que não estão adequadas ao processo de polpação, para melhorar a qualidade dos cozimentos;

Fazer mais repetições e com modelos de cozimento diferentes para espécie, a fim de se obter mais resultados dentro das curvas de cozimento, avaliar a possibilidade de uso de aditivos durante o cozimento que possam diminuir o teor de álcali aplicado e melhorar a qualidade da polpa;

Para um parâmetro de qualidade, aplicar a metodologia usada para a espécie, em uma espécie de referência, para avaliar os resultados obtidos no cozimento, em mesmas condições.

## REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ALMEIDA, Fabio Sérgio de. **Influência da Carga Alcalina no Processo de Polpação Lo-Solids para Madeiras de Eucalipto**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

ALVES, Isabel Cristina Nogueira 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, jan./mar. 2011.

AMPESSAN, Camilla G. M. et al. **QUALIDADE DOS TRAQUEÍDEOS DE *Pinus taeda* L. EM DIFERENTES IDADES PARA A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. 2015.

ANDRADE, Alan Sulato. **QUALIDADE DA MADEIRA, CELULOSE E PAPEL EM *Pinus taeda* L.: INFLUÊNCIA DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BALLONI, C. J .V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii***. 2009. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista. Itapeva, 2009.

BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A., CRUZ, M. P. Composição Química de Extrativos Lipofílicos e Polares de Madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.

BASSA, Alexandre. **Processo de Polpação Kraft Convencional e Modificado com Madeira de *Eucalyptus grandis* e Híbrido (*E. grandis* x *E.urophylla*)**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Madeiras, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARNEIRO, Mayara Elita; BITTENCOURT, Eduardo; MUNIZ, Graciela InesBolzon de. Qualidade da Madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p.913-920, out./dez., 2009.

CARVALHO, P. E. R. Novas alternativas para reflorestamento. **Revista da Madeira**. Curitiba, n. 60, p.66-67, 2001.

CELULOSEONLINE. **Produção e exportação dos produtos florestais crescem em 2017**. 2017. Disponível em: <<http://celuloseonline.com.br/producao-e-exportacao-dos-produtos-florestais-crescem-em-2017/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

DOBNER JUNIOR, Mário et al. Crescimento de um povoamento de *Cryptomeria japonica* no Sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p.39-46, mar. 2013.

DIAS, Oriane Avancini; SIMONELLI, George. Qualidade da Madeira para a Produção de Celulose e Papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p.3632-3646, 1 dez. 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisas Florestais. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Curitiba: Embrapa, 1988. 113p.

FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft**. 2012. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Viçosa.

FERREIRA, A. T. B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Barr. Et Golf**. 2009. 84 f. Tese (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FOELKEL, Celso. Entendendo a Construção do Indicador de Consumo Específico de Madeira para Produção de Celulose Kraft. In: FOELKEL, Celso. **A Madeira do Eucalipto para Produção de Celulose**. 2017. Cap. 46. p. 1-106. Disponível em: <[http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT46\\_Consumo+Especifico+Madeira+Celulose.pdf](http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT46_Consumo+Especifico+Madeira+Celulose.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2018.

FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS PARA CONÍFERAS E FOLHOSAS. **Ipef**, v. 3, n. 2, p.65-74, 1971.

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.

GOMES, Fabiana Aparecida. **Avaliação dos Processos Kraft convencional e Lo-Solids para Madeira de Pinus taeda.** 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo 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.

GONÇALVES, Fabrício Gomes et al. DENSIDADE BÁSICA E VARIAÇÃO DIMENSIONAL DE UM HÍBRIDO CLONAL DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p.277-288, mar. 2009.

IBA (Brasil) (Ed.). **Ibá divulga balanço anual da indústria de árvores plantadas.** 2017. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/noticias-do-sfb/iba-divulga-balanco-anual-da-industria-de-arvores-plantadas>>. Acesso em: 29 set. 2017

KLOCK, Umberto. **Introdução ao Processo de Obtenção de Celulose.** Disponível em: <<http://celuloseonline.com.br/>>. Acesso em: 13 set. 2016.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e Papel.** 3. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. 118 p.

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

LONGUE JÚNIOR, Dalton et al. Efeito dos sólidos dissolvidos da madeira no desempenho do processo kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p.405-413, dez. 2009.

LOUSADA, José et al. Relações entre Peso, Volume e Densidade para a Madeira de Pinheiro Bravo (*Pinus pinaster* Ait.) Cultivado em Portugal. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 2, n. 16, p.183-196, 2008.

MATIAS, Ana Elisa B. et al. **Caracterização química de resíduos de pinus e eucalipto da indústria de papel e celulose.** Brasília/DF: Embrapa Agroecologia, 2015.

MELO, Rafael Rodolfo et al. VARIAÇÃO RADIAL E LONGITUDINAL DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* ENGELM. COM DIFERENTES IDADES. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p.83-92, maio 2013.

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.

MORAIS, Sérgio Antônio Lemos de; NASCIMENTO, Evandro Afonso do; MELO, Dárlei Carrijo de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.461-470, abr. 2005.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de Pinus taeda L.** 173f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

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

NÚÑEZ, Carlos Eduardo. Relaciones de Conversión entre densidad básica y densidad seca de Madera. **Revista Ciencia e Tecnologia**, v. 9, n. 7, p.44-50, 2007.

OLIVEIRA, Edilson Batista de et al. **Determinação da Quantidade de Madeira, Carbono e Renda da Plantação Florestal**. Colombo: Embrapa Floresta, 2011.

PALERMO, Gilmara Pires de Moura et al. Análise da densidade da madeira de pinus elliottii engelm. **Remade**: revista da madeira, Online, set. 2006. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=959&subject=Densidade&title=Análise da densidade da madeira de pinus elliottii engelm](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=959&subject=Densidade&title=Análise da densidade da madeira de pinus elliottii engelm)>. Acesso em: 07 jun. 2018.

PEREIRA, José Carlos Duarte; HIGA, Rosana Clara Victoria; SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Propriedades da Madeira do Cedrinho japonês**. Colombo: Embrapa, 2003.

SANTOS, C.B. et al. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**. Santa Maria, RS, v.10, n.2, p.1-15, 2000.

SANTOS, Scheila Rodrigues dos. **Influência da Qualidade da Madeira de Híbridos de Eucalyptu sgrandis x Eucalyptu urophylla e do Processo Kraft de Polpação na Qualidade da Polpa Branqueada**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SCAN - SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **Technical Standards**, Stockholm, 1980.

SEGURA, Tiago Edson Simkunas. **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. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

\_\_\_\_\_. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada**. 2015. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Niversidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

SHIMOYAMA, Vanilda R. S.; WIECHETECK, Marcelo Sérgio Souza. 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.

SHIMIZU, J. Y.; MAIOCHI, R.A. *Cryptomeria* como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p.63-70, 2007.

SILVA JUNIOR, F. G. DA. **Polpação Kraft do eucalipto com adição de antraquinona, polissulfetos e surfactante**. Campinas, SP: UNICAMP, 1997. 116f. Tese (Programa de Pós-Graduação - Doutorado). Universidade Estadual de Campinas.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 2007. 2 v.

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

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

VIVIAN, Magno Alan et al. Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p.183-191, mar. 2015.

\_\_\_\_. **Maceração, Aquisição de Imagens e Medição de Fibras/Traqueídeos de Madeira.** Curitiba: Ufsc, 2016.

\_\_\_\_. **Aumento da Eficiência do Processo Kraft de Polpação a partir de Pré-tratamento de Cavacos de Madeira de eucalipto.** 2015. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

XAVIER, Jessé Agostinho. **VARIABILIDADE DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE Pinus taeda L. EM DIFERENTES IDADES DE PLANTIO.** 2009. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.