

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

Matheus Fiorentin Bosetti

**Propriedades da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**

Curitibanos, SC

2024



Matheus Fiorentin Bosetti

**Propriedades da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**

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

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Curitibanos, SC

2024

Fiorentin Bosetti, Matheus

Propriedades da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) / Matheus Fiorentin Bosetti ; orientador, Magnos Alan Vivian, 2024.

42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, , Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

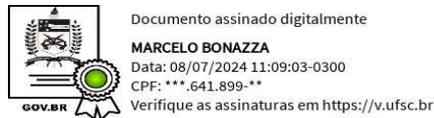
1. Qualidade da madeira. II. Celulose e papel. III. Espécie alternativa. IV. Espécie nativa.

Matheus Fiorentin Bosetti

**Propriedades da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**

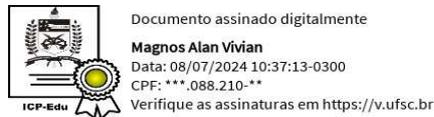
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 8 de junho de 2024.

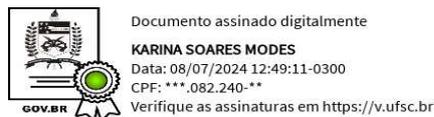


Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

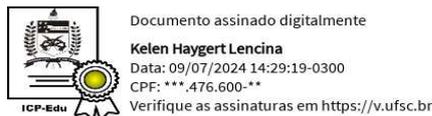
**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Magnos Alan Vivian  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kelen Haygert Lencina  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Venho por meio deste trabalho agradecer a todas as pessoas que fizeram parte da minha jornada e contribuíram para a conquista dos meus objetivos.

Devo minha profunda gratidão à minha família pelo apoio incondicional. Em especial aos meus pais, por sempre nos colocar em primeiro lugar e por todas as lições que ensinaram. Se um dia eu me tornar 50% do que vocês são, vou me sentir o homem mais sortudo do mundo. Vocês são meus maiores exemplos e a razão pela qual eu me impulsiono diariamente em direção aos meus objetivos.

Meus agradecimentos a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a todos os profissionais empenhados em transmitir conhecimento e agregar na formação dos estudantes, com destaque para o meu orientador Dr. Magnos Alan Vivian, assim como a Dr<sup>a</sup> Karina, Dr<sup>a</sup> Kelen, Dr. Vinicius e Dr. Marcelo Bonazza. Em especial ao meu orientador, por todo o suporte e ajuda oferecida no desenvolvimento do trabalho e nas matérias ministradas na faculdade, sempre demonstrando interesse em fazer o que está ao seu alcance para nos ajudar em nossa formação profissional.

Também agradeço aos meus colegas de curso Laiara Moreira, Olávio Rosa e Gabrielly Duarte e Teruo Homobono pela colaboração na preparação do material para análises e, aos técnicos do laboratório pela assistência e manutenção dos equipamentos.

## RESUMO

O setor de papel e celulose é um dos motores da economia do país, o qual é apoiado apenas nas espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* para o seu abastecimento. Tal característica torna o mercado vulnerável ao ataque de pragas e doenças, podendo causar impactos econômicos significativos em toda a cadeia produtiva caso o mesmo seja afetado. Sendo assim, a bracatinga surge como uma espécie alternativa para complementar a oferta de madeira para o mercado florestal. Com base nisto, o objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades físico-químico-anatômicas da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*) visando à produção de celulose de fibra curta. Para isto foram utilizadas 3 árvores, com aproximadamente 10 anos de idade, procedente de Curitiba, SC. Destas foram extraídos discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura ao longo da altura comercial (0, DAP, 25, 50, 75, 100%) para avaliar a densidade básica, composição química e morfologia e indicadores anatômicos de qualidade das fibras para produção de papel. A densidade básica ponderada foi de 0,550 g/cm<sup>3</sup>, não apresentando diferenças estatísticas significativas ao longo das posições do fuste. Em relação à composição química, os teores de holocelulose (67,06%), extrativos (3,01%) e cinzas (0,56%) estão condizentes com os valores encontrados na literatura para folhosas, já o teor de lignina (29,93%) foi superior. A análise morfológica das fibras indicou que as mesmas podem ser classificadas como de comprimento médio (1,04 mm), sendo similares ao encontrado para espécies de *Eucalyptus*. As demais dimensões, como a largura (25,54 µm), diâmetro do lúmen (15,61 µm) e espessura da parede (4,97 µm) das fibras da madeira de bracatinga foram superiores as relatadas para o gênero *Eucalyptus*. Os indicadores anatômicos de qualidade da madeira para produção de papel demonstraram valores satisfatórios para a madeira de bracatinga, quando comparada com espécies de *Eucalyptus*, com fração parede (39,22%), coeficiente de flexibilidade (60,78) e índice de Runkel (0,71) muito bons, apenas com exceção do índice de enfiamento (40,61) que foi abaixo do relatado para espécies de *Eucalyptus*. Com base nos resultados observados, conclui-se que a madeira de bracatinga possui características físicas, químicas e anatômicas favoráveis, que a tornam uma espécie alternativa de bom potencial para a produção de polpa celulósica de fibras curtas.

**Palavras-chave:** Qualidade da madeira. Celulose e papel. Espécie alternativa. Espécie nativa.

## ABSTRACT

The paper and pulp industry is one of the country's economic engines, relying solely on species from the *Eucalyptus* and *Pinus* genus for its supply. This characteristic makes the market vulnerable to attacks from pests and diseases, which could cause significant economic impacts throughout the production chain if affected. Therefore, bracatinga emerges as an alternative species to complement the wood supply for the forestry market. Based on this, the objective of the study was to evaluate the physicochemical-anatomical properties of bracatinga wood (*Mimosa scabrella*) aiming at short fiber cellulose production. For this, 3 trees, approximately 10 years old, obtained from an area located in Curitiba/SC were used. Discs with approximately 3.0 cm thickness along the commercial height (0, DAP, 25, 50, 75, 100%) were extracted from these trees to evaluate basic density, chemical composition, morphology, and anatomical indicators of fiber quality for paper production. The weighted basic density was 0.550 g/cm<sup>3</sup>, showing no statistically significant differences along the stem positions. Regarding chemical composition, the levels of holocellulose (67.06%), extractives (3.01%), and ashes (0.56%) are consistent with values found in the literature for hardwoods, whereas the lignin content (29.93%) was higher. Morphological analysis of the fibers indicated that they can be classified as medium-sized (1.04 mm), similar to those found for *Eucalyptus* species. Other dimensions, such as width (25.54 μm), lumen diameter (15.61 μm), and wall thickness (4.97 μm) of bracatinga wood fibers were higher than those reported for the *Eucalyptus* genus. Anatomical indicators of wood quality for paper production showed satisfactory values for bracatinga wood when compared to *Eucalyptus* species, with good values for wall fraction (39.22%), flexibility coefficient (60.78), and Runkel index (0.71), except for the felting index (40.61), which was lower than reported for *Eucalyptus* species. Based on the observed results, it is concluded that bracatinga wood has favorable physical, chemical, and anatomical characteristics, making it a potentially good alternative species for short fiber pulp production.

**Keywords:** Wood quality. Pulp and paper. Alternative species. Native species.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bracatingal localizado em Curitiba, SC.....	15
Figura 2 - Mapa de distribuição da espécie bracatinga no Brasil.....	15
Figura 3 - Etapas do processo de obtenção de serragem. (A) Cavacos produzidos a partir dos discos. (B) Processo de moagem dos cavacos. (C) Classificação da serragem em peneira vibratória.....	21
Figura 4 - Etapas do processo de maceração. (A) Palitos dispostos em tubos de ensaio contendo a solução macerante. (B) Tubos de ensaio no banho-maria. (C) Lavagem do macerado.....	23
Figura 5 - (A) Comprimento das fibras e (B) largura das fibras. ....	24
Figura 6 - Variação longitudinal da densidade básica na madeira de bracatinga.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da madeira de bracatinga.....	26
Tabela 2 - Densidade básica da madeira de bracatinga.....	29
Tabela 3 - Dimensões das fibras da madeira de bracatinga.....	31
Tabela 4 - Indicadores anatômicos de qualidade da madeira de bracatinga para produção de papel e celulose.....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1	SETOR DE PAPEL E CELULOSE .....	12
2.2	<i>Mimosa scabrella</i> Benth. ....	13
<b>2.2.1</b>	<b>Aspectos ecológicos e ocorrência .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Clima .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Produtos e utilizações da madeira de bracatinga .....</b>	<b>16</b>
2.3	ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE ..	17
<b>2.3.1</b>	<b>Anatomia e morfologia das fibras da madeira.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Densidade básica da madeira .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Composição química da madeira .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1	Composição química .....	20
3.2	Densidade básica e sua variação longitudinal .....	21
3.3	Morfologia das fibras e indicadores anatômicos .....	22
3.4	Análise estatística .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
4.1	Composição química .....	26
4.2	Densidade básica e sua variação longitudinal .....	28
4.3	Morfologia das fibras e indicadores anatômicos .....	31
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil conta com 9,94 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 95% são representados pelos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (IBÁ, 2023). O restante da área é composta por uma variedade de espécies que incluem a seringueira, teca, acácia, paricá e a araucária. Embora existam outras espécies que contribuam com esses números, sua participação nos dados é ínfima e permanece inexplorada, porém apresentam um potencial econômico significativo, como é o caso da bracatinga, liquidâmbar, criptoméria, cupressus e entre outras espécies.

O setor florestal brasileiro tem um mercado consolidado apenas nas espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, devido a alta produtividade e adaptação, as quais apresentam um incremento médio anual igual a 32,7 e 30,9 m<sup>3</sup>/ha/ano, respectivamente (IBÁ, 2023). Entretanto, essa dependência pode ser vista de forma ambivalente, a depender da perspectiva adotada. O lado positivo é o domínio sobre a silvicultura e o avanço das tecnologias voltadas para tais produtos. Por outro lado, confere ao mercado uma vulnerabilidade em relação ao ataque de pragas e doenças, as quais podem causar impactos econômicos significativos em toda a cadeia produtiva pela falta de alternativas já estabelecidas no mercado.

Neste contexto, é de suma importância buscar alternativas e estudar outras espécies que podem fornecer madeira de qualidade para os diferentes produtos florestais madeireiros (Vivian *et al.*, 2023). Existem diversas espécies com potencial e que merecem atenção, entre as quais está a bracatinga, que é o foco do presente trabalho.

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) é uma folhosa que pertence a família Fabaceae. É uma espécie de ciclo curto com ocorrência natural na Mata Atlântica, nos estados do Sul e Sudeste do Brasil (Friederichs *et al.*, 2015; Dutra *et al.*, 2022). É considerada uma das espécies com crescimento inicial mais rápido dentre as espécies no Sul do Brasil, em plantios estabelecidos por meio de mudas, a produtividade chegou a 36 m<sup>3</sup>/ha/ano com casca aos 4 anos de idade (Ahrens, 1981).

Segundo Carvalho (2002), a madeira de bracatinga tem potencial para ser usada como madeira serrada e roliça (vigas, escoras, caixotaria, embalagens, laminados e compensados), energia (lenha e carvão vegetal) e celulose. Além disso, conforme o mesmo autor, tem aptidão para uso apícola, medicinal, alimentação animal, paisagístico e para reflorestamentos,

desde seu uso na recuperação de áreas degradadas até o estabelecimento de plantios comerciais.

A espécie em questão apresenta grande potencial para diversas finalidades, sendo muito promissora para a produção de papel e celulose de fibra curta. Atualmente, a principal matéria-prima utilizada para o abastecimento de empresas produtoras de papel e celulose de fibra curta no Brasil é proveniente da madeira de *Eucalyptus*. Dessa forma, a bracatinga surge como uma espécie alternativa, com potencial para suprir a demanda do setor florestal, com destaque para o setor de papel e celulose. Todavia, por ser uma espécie nativa, são impostas algumas restrições referentes ao cultivo e ao corte. Isso deve ser superado através de estudos e novas políticas de incentivo ao cultivo da mesma.

Nesse sentido, a presente pesquisa tem como intuito compreender de forma mais aprofundada as propriedades da madeira de bracatinga, fornecendo subsídio para determinar suas aptidões e qualidades, visando a produção de papel e celulose. Dessa forma, estudos relacionados às características físicas, químicas e anatômicas são fundamentais para esse propósito.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades físico-químico-anatômicas da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) visando conhecer sua qualidade para produção de celulose de fibra curta.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a densidade básica da madeira e sua variação longitudinal ao longo do fuste;
- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia das fibras da madeira e seus indicadores anatômicos de qualidade visando à produção de celulose.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SETOR DE PAPEL E CELULOSE

O setor florestal brasileiro detém uma participação relevante na economia do país, evidenciando crescimentos constantes ao longo dos anos. De acordo com os dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), em 2022 o setor gerou uma receita bruta de R\$ 260 bilhões, representando 1,3% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional. Durante o período de 2010 a 2021, enquanto o PIB registrou um crescimento de 7,4%, o valor adicionado à cadeia de base florestal aumentou em 20,5%, demonstrando sua tendência histórica de crescimento acima do PIB brasileiro (IBÁ, 2022).

Atualmente, o setor é reconhecido como um dos motores da economia do país, sendo considerado um segmento significativo da agroindústria, especialmente nas exportações. A cadeia de base florestal ocupa a 22ª posição no ranking das 50 atividades com maior participação na economia, desempenhando um papel crucial na balança comercial. As exportações alcançaram um montante recorde de US\$ 14,3 bilhões, contribuindo para a manutenção de 2,6 milhões de empregos diretos e indiretos, e gerando uma renda tributária no âmbito federal e estadual na ordem de R\$ 25 bilhões (IBÁ, 2023).

Os segmentos de papel e celulose se destacam como os mais representativos dentro do setor florestal. Em 2022, o Brasil se consolidou como o segundo maior produtor mundial de celulose, porém sendo o maior exportador global da mesma, alcançando uma produção recorde de 25,0 milhões de toneladas. Aproximadamente 76,4% do total é destinado para o mercado externo, onde os principais destinos das exportações são a China (39,7%) e a Europa (29,7%). Entre 2021 e 2022, o segmento registrou um crescimento das exportações de 22,1% e na produção de 10,9% (IBÁ, 2023).

A balança comercial do país registrou exportações recordes para o setor florestal, na ordem de US\$ 14,3 bilhões, dos quais US\$ 8,4 bilhões são representados pela produção de celulose, destacando a relevância do setor. Das 25,0 milhões de toneladas de celulose produzidas, cerca de 21,9 milhões são provenientes da celulose de fibra curta, a qual é obtida a partir de espécies do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2023).

Com relação a produção de papel, o Brasil se destaca entre os dez maiores produtores, ocupando a nona posição no ranking global, com uma produção de 11,0 milhões de toneladas. Aproximadamente 77,3% do volume é direcionado para o mercado interno, enquanto o restante é exportado, tendo como principais destinos a América do Sul (57,8%) e América do Norte (16,4%). No mesmo período, o segmento registrou um aumento na produção de 3,5% e nas exportações de 21,0%, refletindo a importância do produto em um contexto mundial (IBÁ, 2023).

A expansão contínua do setor de papel e celulose reflete não apenas a demanda global crescente por esses produtos, mas também a eficiência e competitividade da indústria brasileira nesse segmento.

Atualmente, a produção destes setores é focada basicamente no gênero *Eucalyptus* para produção de celulose de fibra curta e, no gênero *Pinus* para o segmento de fibra longa (Vivian *et al.*, 2023). O país conta com uma área de florestas plantadas de 9,94 milhões de hectares, dos quais o *Eucalyptus* ocupa 76% (7,6 milhões de hectares), seguido pelo *Pinus* com 19% (1,9 milhão de hectares) e outras espécies com 5% (0,5 milhão de hectares). Os principais plantios de *Eucalyptus* estão localizados nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo, enquanto o *Pinus* está concentrado no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBÁ, 2023).

## 2.2 *Mimosa scabrella* Benth.

### 2.2.1 Aspectos ecológicos e ocorrência

A *Mimosa scabrella* Benth., popularmente conhecida como bracatinga, é uma espécie nativa e endêmica do Brasil, característica do Planalto Sul Brasileiro, presente especialmente na vegetação secundária das Florestas com Araucária, também conhecida como Floresta Ombrófila Mista, nas formações Montana e Alto Montana (Carvalho, 2003). Tem ocorrência nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Bartoszeck, 2000).

A bracatinga é uma árvore perenifólia que pode atingir alturas entre 4 e 18 m e um diâmetro à altura do peito (DAP) de 20 a 30 cm, com capacidade de atingir até 29 m de altura

e 50 cm de DAP na idade adulta (Carvalho, 2003). Em áreas com alta densidade populacional, tende a desenvolver troncos retos e altos, enquanto em isolamento, predominam troncos curtos e ramificados. É considerada uma espécie com ciclo de vida curto, podendo alcançar 25 anos de idade (Carvalho, 2003).

Por ser uma espécie pioneira e demandar alta exposição solar, é considerada uma das espécies com o crescimento inicial mais rápido do Sul do Brasil (Carvalho, 2003). Povoamento implantados em Concórdia, SC, através de mudas alcançaram produtividade de até 36 m<sup>3</sup>/ha/ano aos 4 anos de idade, sob espaçamento de 3 x 2 m (Carvalho, 2003). É amplamente empregada na recuperação de áreas degradadas, inclusive em áreas com extração de bauxita, demonstrando excelentes resultados (Carpanezzi; Laurent, 1988). Isso se deve ao fato da espécie ser pouco exigente em relação às condições físicas e químicas do solo, desenvolvendo-se em solos ácidos, com baixa fertilidade e altos teores de alumínio (Regensburger *et al.*, 2008).

Após o plantio, promove melhorias significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo capaz de incorporar teores elevados de nitrogênio e fósforo no solo, pela deposição de matéria-orgânica na forma de serrapilheira (Arce; Bauer, 1985). Em um experimento implantado pela Embrapa em Colombo, PR, verificou-se que a espécie depositou 8.492 kg de matéria-orgânica, 181 kg de nitrogênio, 8 kg de fósforo, 11 kg de potássio, 121 kg de cálcio e 15 kg de magnésio por hectare por ano, variando conforme a idade e o espaçamento adotado (Carpanezzi; Laurent, 1988).

A espécie tem a capacidade de formar maciços florestais puros e adensados, os quais são denominados bracatingais (Figura 1). Se estabelecem com facilidade em áreas antropizadas, com distúrbios e após queimadas, que causam a quebra da dormência tegumentar das sementes presentes no banco de sementes do solo (Carpanezzi; Carpanezzi, 1992). Atua como facilitadora de sucessão, melhorando as condições do ambiente para que espécies mais exigentes se instalem e substituam a bracatinga, como a canela-guaicá (*Ocotea puberula*) (Klein, 1981).

Figura 1 - Bracatingal localizado em Curitibaanos, SC.



Fonte: O autor (2024).

### 2.2.2 Clima

Nas áreas de ocorrência natural da espécie, o clima predominante é classificado como Cfb (temperado chuvoso), segundo a definição de Köppen. Esse clima se caracteriza por uma temperatura média anual de 13,2 a 21°C e uma precipitação média anual variando de 1.200 a 2.300 mm. Tem ocorrência natural entre as latitudes 21° 30'S a 29° 50'S, em altitudes de 350 m a 2.000 m, em Santa Catarina. Na América Central, foi introduzida em altitudes de até 2.500 m (Carvalho, 2003) (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de distribuição da espécie bracatinga no Brasil.



Fonte: Carvalho (2003).

### 2.2.3 Produtos e utilizações da madeira de bracatinga

Historicamente, o uso da madeira de bracatinga foi direcionado para o uso da lenha em propriedades, nas locomotivas de estradas de ferro e indústrias regionais, como a indústria de cal, açúcar, olarias e entre outras (Mazuchowski; Becker, 2006). Atualmente, o principal uso da madeira de bracatinga permanece voltado para a produção de lenha e carvão, o qual é muito apreciado para essa finalidade devido as suas propriedades energéticas, onde a lenha tem um poder calorífico de 4.569 a 4.580 kcal/kg, enquanto o carvão varia de 7.239 a 7.554 kcal/kg, com rendimentos elevados na ordem de 32,6 a 35,0% (Carvalho, 2002; Carvalho, 2003). Todavia, a demanda da matéria-prima é crescente para fins mais nobres como laminação, serraria e movelaria, sendo muito apreciada pela coloração marrom escura, a qual lembra a madeira da Imbuia (Araújo, 2004; Mazuchowski; Becker, 2006).

A espécie oferece uma variedade de produtos madeiráveis, sendo indicada para fins diversos. Na construção civil pode ser usada em vigamentos, escoras, caixotaria e embalagens leves, compensados, laminados e aglomerados (Carvalho, 2003). Outros usos potenciais incluem a produção de papel e celulose como uma fonte alternativa ao uso do eucalipto em regiões com fatores limitantes para sua produção, ou como fonte complementar, usando a celulose da bracatinga em mistura com a celulose de eucalipto na forma de mix, para a fabricação de papéis de impressão e escrita (Araújo, 2004).

Além disso, a bracatinga apresenta um potencial para ser implantada em sistemas agroflorestais. Na Costa Rica, a espécie foi plantada em sistemas agroflorestais em conjunto com a cultura do café, fornecendo sombra, proteção contra geadas e deposição de matéria-orgânica no solo, sendo considerado um dos melhores modelos de produção neste tipo de sistema, apresentando resultados promissores. Devido às elevadas doses de fertilizantes aplicados nos cafezais, plantios com idades entre 1 e 2 anos, com densidades de 400 a 625 árvores por hectare, registraram incrementos anuais de 3,8 a 7,9 cm de DAP e 2,6 a 4,9 m de altura, chegando a atingir 12,9 cm de DAP e 8,1 m de altura (Campos Acer; Bauer, 1985).

## 2.3 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE

### 2.3.1 Anatomia e morfologia das fibras da madeira

Ao avaliar a qualidade da matéria-prima para a produção de papel e celulose, é fundamental considerar a anatomia e morfologia das fibras, pois esses aspectos tem um impacto direto nas propriedades físico-mecânicas do produto final (Trebbi, 2015). A partir da análise da espessura da parede celular, diâmetro do lúmen, comprimento e largura das fibras, é possível determinar o potencial da espécie ou do material genético, calculando parâmetros como fração de parede, índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade e índice de enfeltramento (Baldin *et al.*, 2017).

De acordo com Ballarin e Palma (2003), conforme a árvore aumenta de idade observa-se uma tendência de aumento do comprimento das fibras, decorrente do processo de transição da madeira juvenil para a madeira adulta. Segundo Baldin *et al.*, (2017), observou-se tendência de aumento do comprimento das fibras e da espessura da parede celular em função da idade para quatro espécies de *Eucalyptus*. Além disso, Sbardella *et al.* (2021) afirmam que, com o aumento da espessura da parede celular há uma redução do diâmetro do lúmen em função do avanço da idade da árvore.

De acordo com Gomide *et al.* (2005), fibras mais longas apresentam maior resistência ao rasgo e dobras, enquanto fibras mais curtas favorecem uma melhor formação da folha e lisura superficial. Segundo Ferreira (2000), as fibras curtas tem uma distribuição mais homogênea do tamanho da porosidade do papel, favorecendo uma melhor absorção da tinta e, por conseguinte, melhor impressão. Além disso, as fibras curtas possuem maior facilidade de drenagem, permitindo que as máquinas de papel trabalhem a velocidades superiores (Ferreira, 2000).

Estudos conduzidos por Oliveira (1988) e Trugilho *et al.* (1996) demonstraram correlação da densidade básica com o comprimento e largura das fibras, diâmetro do lúmen e, principalmente, a espessura da parede celular. Madeiras com maior densidade básica tendem a apresentar maior espessura da parede celular e comprimento das fibras, porém menor diâmetro do lúmen.

### 2.3.2 Densidade básica da madeira

A densidade básica pode ser definida pela relação entre o peso da madeira anidra e o volume verde saturado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003). Além de ser uma variável de fácil obtenção e de baixo custo, está intimamente ligada às propriedades físicas e mecânicas da madeira, sendo reconhecida como um índice universal para avaliar a qualidade da madeira em diversas aplicações, como a produção de papel e celulose (Foelkel *et al.*, 1990; Demuner, 2011).

Barrichelo e Brito (1979) destacam que a densidade básica da madeira é crucial para quantificar o rendimento dos processos, a velocidade de impregnação dos cavacos, a refinação da celulose e a qualidade dos produtos finais. Para Silva *et al.* (2001), a densidade básica ideal é de  $0,45 \text{ g/cm}^3$ , com variações aceitáveis entre  $0,40$  a  $0,55 \text{ g/cm}^3$ . De acordo com Gomide *et al.*, (2005), as novas fábricas de papel e celulose tem priorizado o uso de madeiras com densidade em torno de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . Caso contrário, pode impactar de forma negativa na qualidade dos cavacos, no processo de cozimento da madeira e na qualidade da celulose.

Madeiras com densidade superior a  $0,55 \text{ g/cm}^3$  tendem a causar maior desgaste das facas do picador, produzindo uma maior proporção de cavacos fora dos padrões e dificultando a impregnação do licor de cozimento, demandando uma maior concentração de álcali (Silva *et al.*, 2001). Além disso, produzem uma maior quantidade de rejeitos e baixos rendimentos no processo. Por outro lado, madeiras com densidades inferiores a  $0,40 \text{ g/cm}^3$  demandam uma maior quantidade da matéria-prima levando à redução do rendimento no processo, impactando de forma mais intensa as empresas que possuem limitação em seu fornecimento de madeira (Silva *et al.*, 2001; Gomide *et al.*, 2005).

Por esta razão, a densidade básica da madeira é um dos parâmetros de seleção mais importantes em programas de melhoramento voltados para o processo de polpação, de forma conjunta com o crescimento (Miranda *et al.*, 2001). A densidade básica é uma variável complexa devido a combinação de diversos fatores que causam variações nos resultados. Estudos conduzidos por Milagres (2009) revelaram que a densidade básica pode variar entre indivíduos da mesma espécie e até entre diferentes seções da mesma árvore. Além disso, varia conforme o espaçamento, idade, procedência, espécie e a qualidade do sítio (Berger, 2000; Valério *et al.*, 2008).

### 2.3.3 Composição química da madeira

O conhecimento acerca da composição química da madeira é de extrema importância para determinar a qualidade da polpa produzida ao final do processo, servindo de parâmetro para fornecer informações sobre o consumo de reagentes no digestor, o rendimento depurado, o teor de sólidos, o rendimento do processo e o potencial de produção industrial (Santos, 2000; Demuner, 2011). Dessa forma, são essenciais estudos direcionados à composição química e aos processos de produção com o intuito de aprimorar de forma qualitativa e quantitativa o produto final (Demuner, 2011).

Basicamente a estrutura da madeira é dividida em componentes fundamentais e acidentais (Barrichelo; Brito, 1979). Os componentes fundamentais são constituídos por compostos orgânicos que formam a estrutura da madeira, sendo eles a celulose, hemicelulose e lignina, os quais estão presentes em todas as madeiras (Demuner, 2011).

De acordo com Foelkel (1977), a lignina é um componente que confere uma coloração marrom escura para o papel, por este motivo é um componente indesejável na produção de papéis, especialmente em papéis de impressão. Madeiras com altas concentrações de lignina podem prejudicar o processo de deslignificação, resultando em um maior número kappa e menor alvura, ou exigindo uma maior carga de álcali (Mezzomo *et al.*, 1997).

Já os componentes acidentais, também conhecidos como extrativos e cinzas, são formados por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo considerados não essenciais para a estrutura da madeira, porém alguns destes compostos desempenham funções importantes no metabolismo da árvore (Foelkel, 1977). Entretanto, assim como a lignina, os extrativos são componentes indesejáveis, causando problemas como a corrosão, incrustamento, presença de detritos na celulose e dificuldade na etapa de branqueamento (Foelkel, 1977).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução do estudo foi utilizada a madeira de bracatinga, com idade aproximada de 10 anos, proveniente de uma área de regeneração natural, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Curitibanos, SC. A área está localizada a uma altitude de 835 metros, e de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb – subtropical úmido, tendo como principais características a presença de chuvas predominantes na primavera, mas bem distribuídas durante todo o ano, apresentando verões amenos e invernos moderadamente rigorosos, com geadas anuais e neve eventual (Embrapa, 2012; Didóne, 2015).

Foram coletadas três árvores com diâmetro e alturas semelhantes, das quais foram extraídos discos de aproximadamente 3,0 cm de espessura nas seguintes posições: 0 (base), DAP (diâmetro a altura do peito = 1,30 m), 25, 50, 75, 100% da altura comercial (diâmetro útil de 6,0 cm na ponta fina), seguindo a metodologia recomendada por Vital (1974) para determinação da variação longitudinal da densidade básica. Da base foi coletado um disco adicional para análise morfológica das fibras. As amostras sobressalentes dos discos de cada posição foram utilizadas para análise da composição química. Após a coleta o material foi transportado para o Laboratório de Recursos Florestais da UFSC, para condução das etapas do estudo.

#### 3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para determinar a composição química, as amostras sobressalentes dos discos de todas as posições foram usadas para a confecção de cavacos com o auxílio de facão e martelo. Em seguida, os cavacos foram reduzidos à serragem utilizando o Moinho do tipo *Willey* e, posteriormente classificados em peneiras vibratórias (Figura 3). A fração selecionada ficou retida nas peneiras entre 40 e 60 *mesh*.

Figura 3 - Etapas do processo de obtenção de serragem. (A) Cavacos produzidos a partir dos discos. (B) Processo de moagem dos cavacos. (C) Classificação da serragem em peneira vibratória.



Fonte: O autor (2024).

As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), localizada em Piracicaba (SP). Foram determinados os seguintes parâmetros, em triplicatas: cinzas (TAPPI 211 om-02), extrativos totais (TAPPI T 204 cm-17) e lignina total (de acordo com os procedimentos adaptados pelo LQCE/ESALQ/USP) (Vivian, 2015). A holocelulose foi obtida por meio da Equação 1:

$$Holo = 100 - (TE + TL) \quad (1)$$

Em que: Holo = Teor de holocelulose (%); TE = Teor de extrativos totais (%); TL = Teor de lignina total (%).

### 3.2 DENSIDADE BÁSICA E SUA VARIAÇÃO LONGITUDINAL

Para determinação da densidade básica foram utilizados os discos extraídos nas posições 0, DAP, 25, 50, 75, 100% da altura comercial de cada árvore, dos quais foram confeccionadas duas cunhas opostas, que foram mantidas submersas em água até completa saturação. Após esse procedimento foi determinado o volume verde das cunhas (cm<sup>3</sup>)

seguindo as recomendações da norma NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Para obtenção da massa seca das cunhas, as cunhas foram submetidas à secagem a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , em estufa com circulação forçada de ar. Após esse período foi mensurada a massa seca (g) de cada cunha para cálculo das respectivas densidades básicas (Equação 2).

$$Db = \frac{Ms}{Vv} \quad (2)$$

Em que: Db = densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); Ms = massa seca (g); Vv = volume verde ( $\text{cm}^3$ ).

Após a obtenção dos valores da densidade básica de cada uma das duas cunhas extraídas, foi realizada a média dos valores registrados para determinação da densidade por disco (posição da amostragem) para determinação da variação dessa propriedade ao longo do fuste das árvores. A partir disso foi possível calcular a densidade básica ponderada, em função dos valores de densidade básica e do diâmetro dos discos em cada posição. A densidade básica ponderada foi determinada com auxílio da Equação 3, conforme apresentada por Vivian *et al.* (2021).

$$Dbp = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{DAP}^2) * (d_B + d_{DAP}) * \dots * (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) + (d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 * (D_{DAP}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (3)$$

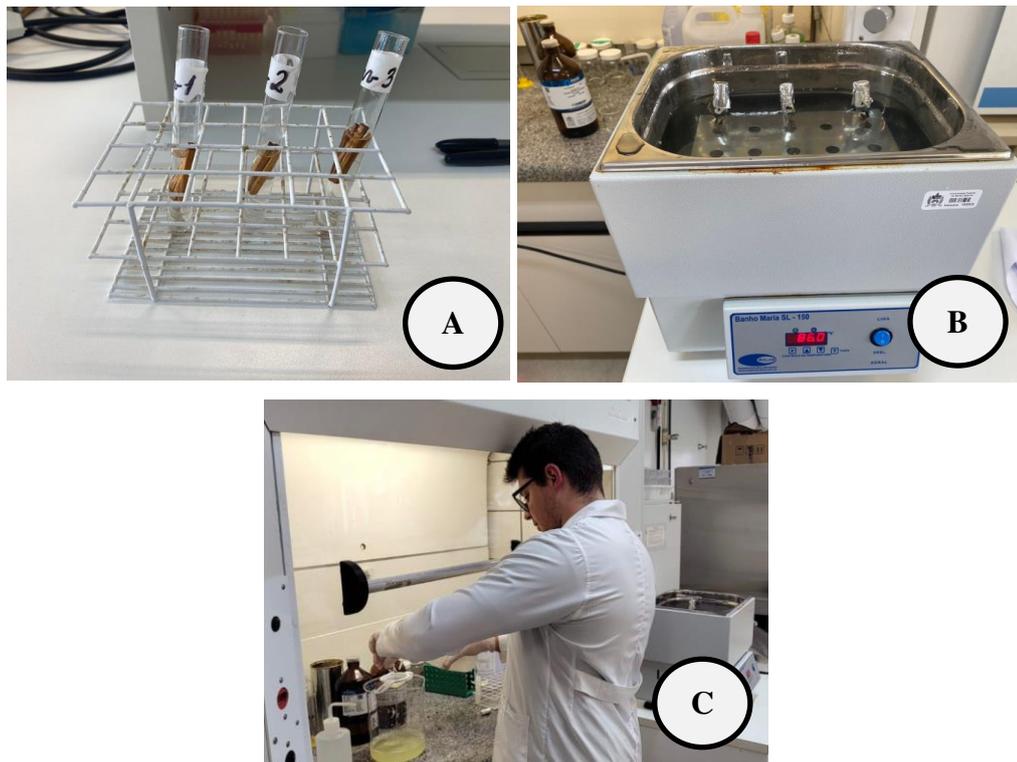
Em que: Dbp = densidade básica ponderada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $D_B$ ,  $D_{DAP}$ ,  $D_{25\%}$ ,  $D_{50\%}$ ,  $D_{75\%}$  e  $D_{100\%}$  = diâmetros dos discos nas posições de amostragem (cm);  $d_B$ ,  $d_{DAP}$ ,  $d_{25\%}$ ,  $d_{50\%}$ ,  $d_{75\%}$  e  $d_{100\%}$  = densidade básica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

### 3.3 MORFOLOGIA DAS FIBRAS E INDICADORES ANATÔMICOS

Para caracterização morfológica das fibras foram preparadas lâminas temporárias de macerado a fim de se obter informações de comprimento, largura e diâmetro do lúmen das fibras. Após obtenção destas informações foram calculados a espessura da parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfiletramento.

Para tal análise foram utilizados os discos da base (0%), dos quais foram retiradas amostras que foram transformadas em pequenos palitos (fragmentos) para a realização da maceração. Os palitos foram dispostos em tubos de ensaios devidamente marcados, aos quais foram adicionados a solução macerante composta por 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, na temperatura de 100°C, onde permaneceram por aproximadamente 1 hora, até que os elementos se individualizem. Transcorrido o tempo, as amostras foram lavadas e mantidas no tubo de ensaio com água destilada (Figura 4).

Figura 4 - Etapas do processo de maceração. (A) Palitos dispostos em tubos de ensaio contendo a solução macerante. (B) Tubos de ensaio no banho-maria. (C) Lavagem do macerado.

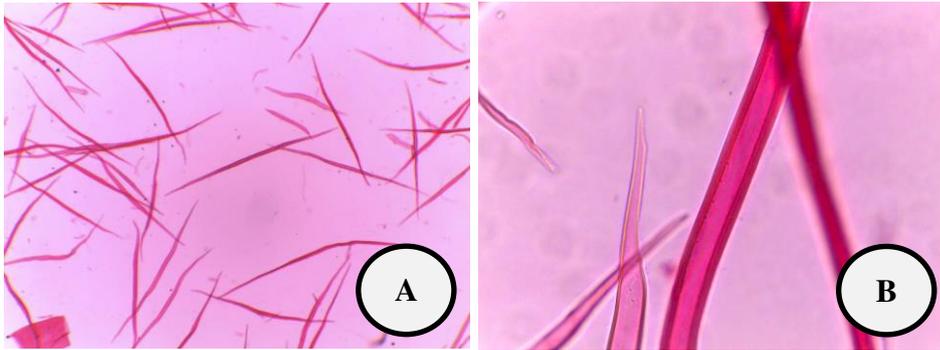


Fonte: O autor (2024).

A partir do material macerado foram montadas lâminas adicionando uma gota de safranina, uma gota de glicerina e uma gota de água. Com as lâminas montadas foram obtidas imagens em microscópio com câmera digital acoplada e software específico para isso. Para

captura das imagens de comprimento foi utilizado o aumento de 40x (Figura 5A), já para a largura e diâmetro do lúmen foi usado o aumento de 400x (Figura 5B).

Figura 5 - (A) Comprimento das fibras e (B) largura das fibras.



Fonte: O autor (2024).

Na sequência, por meio de software específico foram mensuradas as dimensões de 35 fibras para comprimento (C), largura (L) e diâmetro do lúmen (DL) de cada árvore, baseando-se nas recomendações da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). A espessura da parede celular (EP) foi determinada conforme Equação 4. Já os demais indicadores anatômicos, fração parede (FP), coeficiente de flexibilidade (CF), índice de enfieltramento (IE) e índice de Runkel (IR), foram calculados conforme as Equações 5, 6, 7, 8, respectivamente.

$$EP = \frac{L-DL}{2} \quad (4)$$

$$FP (\%) = \frac{2 \times EP}{L} \times 100 \quad (5)$$

$$CF = \frac{DL}{L} \times 100 \quad (6)$$

$$IE = \frac{C}{\frac{L}{1000}} \quad (7)$$

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL} \quad (8)$$

Em que: EP = espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ); L = largura ( $\mu\text{m}$ ); DL = diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ); C = comprimento ( $\mu\text{m}$ ); FP = fração parede (%); CF = Coeficiente de flexibilidade (%); IE = índice de enfieltramento; IR = índice de Runkel.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados do presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas, utilizando-se os programas Excel e o software Sisvar. A composição química, morfologia das fibras e indicadores anatômicos foram analisados de forma descritiva. Já a densidade básica foi analisada por meio da análise de variância (ANOVA) e quando significativo foi aplicado o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro, no sentido longitudinal base-topo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na tabela 1 é possível observar a composição química da madeira de bracatinga avaliada no estudo.

Tabela 1 - Composição química da madeira de bracatinga.

Árvore	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
1	0,68	3,00	29,09	67,91
2	0,51	2,88	31,44	65,68
3	0,48	3,14	29,26	67,60
Média	0,56	3,01	29,93	67,06
DP	0,11	0,13	1,31	1,21
CV	19,36	4,33	4,38	1,80

Em que: DP = Desvio padrão (%); CV = Coeficiente de variação (%).

Fonte: O autor (2024).

A fração inorgânica, representada pelo teor de cinzas, obtida no presente estudo correspondeu a 0,56%, valor superior ao encontrado por Araújo (2004) para a madeira de bracatinga (0,36%) e inferior para a madeira de *Eucalyptus saligna* (0,84%). Já Barrichelo e Brito (1982) encontraram teores de cinzas iguais a 0,7% para a madeira de bracatinga e 0,2% para a madeira de *Eucalyptus grandis*. De acordo com Klock e Andrade (2013) e Vivian (2015), a porcentagem de cinzas geralmente está situada entre 0,2 a 0,5%.

As cinzas são a fração inorgânica da madeira, a qual é composta por minerais como potássio, cálcio, magnésio e entre outros minerais (Vivian, 2015). Para a produção de papel e celulose é preferível o uso de madeiras com menores concentrações de cinzas, visto que tal componente causa diversos problemas como a corrosão, erosão e entupimentos, diminuindo a vida útil dos equipamentos e ocasionando em perdas de produção (Cardoso *et al.*, 2001).

Com relação aos extrativos, o teor encontrado no presente estudo foi similar aos registrados na literatura. De acordo com Schimidt (2017), os teores médios de extrativos totais obtidos foram iguais a 2,99% para a madeira de bracatinga. Porém, em seus estudos, Vivian (2015) encontrou um teor de extrativos totais igual a 5,66% para a madeira de *Eucalyptus*

*grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 14 anos de idade. Entretanto, para Klock e Andrade (2013), as madeiras de folhosas tem uma concentração de extrativos totais por volta de  $3 \pm 2\%$ .

Os extrativos, assim como a lignina, são componentes indesejáveis na madeira quando o objetivo é produção de polpa celulósica e papel. Teores elevados de extrativos demandam uma maior quantidade de álcali na etapa de polpação, resultando em uma queda no rendimento do mesmo (Barbosa *et al.*, 2005). Além disso, causam problemas de incrustamentos nos equipamentos, produzindo um composto denominado *pitch*, um tipo de resina que se adere nos filtros, em tanques de armazenamento e nas linhas de transporte, permanecendo no produto final e dificultando o branqueamento, o que reduz a qualidade do produto (Santos, 2005).

O teor de lignina encontrado no presente estudo foi superior aos registrados na literatura. Segundo Pereira e Lavoranti (1986), ao analisarem a qualidade da madeira de bracatinga de três origens diferentes, com idades aproximadas de 12, 13 e 16 anos, encontraram teores de lignina variando de 23,3 a 23,9%. Resultados semelhantes foram reportados por Araújo (2004) para a madeira de bracatinga com 7 anos, com médias entre 23,2 e 23,4%. Em contraste, Barrichelo e Foelkel (1975) registraram teores de lignina de 25,4% em bracatingais com idades entre 4 e 7 anos.

Ao comparar os teores de lignina encontrados na madeira bracatinga com a madeira de *Eucalyptus*, a principal matéria-prima usada no abastecimento de empresas produtoras de papel e celulose de fibra curta no Brasil, os resultados se mostram similares ou um pouco superiores para a madeira de bracatinga no presente estudo. A partir da análise química realizada por Araújo (2004), os teores de lignina para a madeira de *Eucalyptus saligna* é igual a 22,8% aos 7 anos de idade. Todavia, em seus estudos, Gomide *et al.* (2010), encontraram teor de lignina igual a 27,3%, com valor máximo de 30,9% para a madeira de *Eucalyptus* em idade comercial de corte. Resultados semelhantes foram obtidos por Trebbi (2015) para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 14 anos de idade, com teor de lignina total igual a 28,75%. Tal comparação é de suma importância para avaliar a qualidade e as potencialidades da madeira para o abastecimento do setor de papel e celulose e demais setores no âmbito florestal.

Teores elevados de lignina são indesejáveis, visto que demandam uma maior carga de produtos químicos para a deslignificação na etapa de cozimento e branqueamento da madeira (Kiyohara; Redko, 1997; Rodrigues *et al.*, 1997; Costa, 2011). Os produtos químicos usados no processo não são seletivos e causam a degradação dos carboidratos e a dissolução dos polissacarídeos de baixo peso molecular. Dessa forma, elevados teores de lignina ocasionam redução do rendimento, da viscosidade e da resistência física da polpa, além de gerar uma maior quantidade de sólidos para ser queimado na caldeira (Alencar, 2002; Gomide *et al.*, 2010).

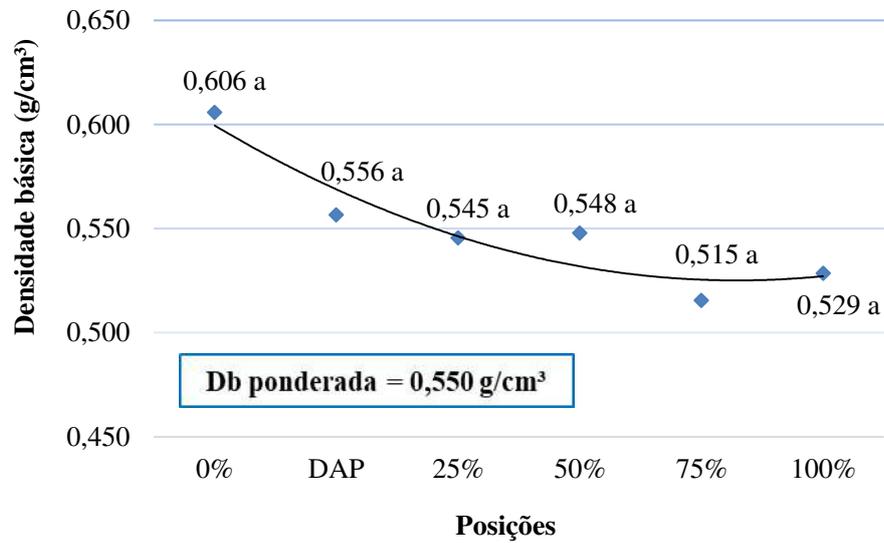
No entanto, são necessárias análises mais aprofundadas com relação a lignina investigando o tipo de lignina, visto que a lignina do tipo siringil tem uma estrutura química menos condensada e, conseqüentemente, é mais facilmente removida durante o processo de deslignificação pelo licor de cozimento. Assim, quanto maior for a proporção de lignina do tipo siringil em relação à lignina do tipo guaiacil, maior é o rendimento no processo (Gomide *et al.*, 2005).

Com relação ao teor de holocelulose, o valor encontrado no presente estudo foi condizente com os descritos na literatura. Em seus estudos Vivian (2015) encontrou teor de holocelulose igual a 70,25% para a madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 5 anos de idade. Segura (2012) obteve resultados similares, com teor igual a 68,85% para a madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 6 anos de idade. Com relação a holocelulose, tal componente é crucial na produção de papel e celulose, estando intimamente ligado ao rendimento da polpação. Os valores encontrados neste estudo estão próximos aos descritos na literatura.

#### 4.2 DENSIDADE BÁSICA E SUA VARIAÇÃO LONGITUDINAL

Com base na figura 6, é possível observar a densidade básica ponderada da madeira de bracatinga e sua variação longitudinal no sentido base-topo do fuste.

Figura 6 - Variação longitudinal da densidade básica na madeira de bracatinga.



Fonte: O autor (2024).

Com base na figura 6, é possível observar que a madeira de *Mimosa scabrella*, com aproximadamente 10 anos de idade, apresentou uma densidade básica ponderada igual a 0,550 g/cm³. Além disso, a densidade básica apresenta um comportamento de redução da densidade no sentido base fuste.

Na tabela 2 é possível observar os valores de densidade básica da madeira de bracatinga entre as árvores analisadas.

Tabela 2 - Densidade básica da madeira de bracatinga.

Árvore	Densidade básica (g/cm³)
1	0,542
2	0,566
3	0,542
Média	0,550
DP	0,01
CV	2,59

Em que: DP = Desvio padrão (g/cm³); CV = Coeficiente de variação (%).

Fonte: O autor (2024).

A variação da densidade básica da madeira de bracatinga entre as árvores analisadas apresentou baixo desvio padrão ( $0,01 \text{ g/cm}^3$ ) e baixo coeficiente de variação (2,59%). De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas – IPT, a madeira de bracatinga é classificada como uma madeira de densidade média.

A densidade básica obtida no presente estudo para a madeira de bracatinga está de acordo com os valores registrados na literatura. Em seus estudos, Araújo (2004) encontrou densidade básica igual a  $0,570 \text{ g/cm}^3$  para a bracatinga aos 7 anos de idade, sendo ligeiramente superior à encontrada no estudo. Por outro lado, Barrichelo e Foelkel (1975) obtiveram uma densidade básica igual a  $0,513 \text{ g/cm}^3$ , inferior aos valores mencionados anteriormente. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira e Lavoranti (1986), com uma densidade básica igual a  $0,537 \text{ g/cm}^3$  para as idades de 12, 13 e 16 anos.

Ao comparar a densidade básica da madeira de bracatinga com as espécies de *Eucalyptus* é possível notar diferenças. Em seus estudos, Gomide *et al.* (2005) avaliaram a qualidade tecnológica da nova geração de clones de *Eucalyptus* das principais empresas nacionais produtoras de celulose kraft branqueada, onde a densidade básica variou de 0,465 a  $0,510 \text{ g/cm}^3$ . Resultados inferiores foram obtidos por Segura (2012) e Vivian (2015) para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com densidade básica de 0,469 e  $0,447 \text{ g/cm}^3$ , com idades de 6 e 5 anos, respectivamente. Por outro lado, Trebbi (2015) encontrou resultados superiores para a madeira do mesmo híbrido, com densidade básica igual a  $0,521 \text{ g/cm}^3$  aos 14 anos de idade.

Para Silva *et al.* (2001), a densidade básica ideal é de  $0,45 \text{ g/cm}^3$ , com variações aceitáveis entre 0,40 a  $0,55 \text{ g/cm}^3$ . Madeiras com densidades superiores a  $0,55 \text{ g/cm}^3$  são prejudiciais, dificultando a picagem das toras, causando maior desgaste das facas e a produção de cavaco fora dos padrões e, conseqüentemente, dificultando a impregnação e gerando um maior teor de rejeitos no processo de polpação, fazendo com que a produção de polpa depurada seja menor (Silva *et al.*, 2001). Sendo assim, com base na densidade básica da madeira de bracatinga é possível afirmar que a mesma tem potencial para ser usada na produção de celulose, apesar de estar na margem do limite superior da densidade recomendada.

### 4.3 MORFOLOGIA DAS FIBRAS E INDICADORES ANATÔMICOS

A análise morfológica das fibras é de extrema importância para determinar as propriedades físico-mecânicas da matéria-prima e do produto final, fornecendo informações sobre os melhores usos (Gomide *et al.*, 2005; Trebbi, 2015; Vivian, 2015). Na tabela 3 é possível observar as dimensões das fibras da madeira de bracatinga.

Tabela 3 - Dimensões das fibras da madeira de bracatinga.

Árvore	Comprimento (mm)	Largura (µm)	Diâmetro do lúmen (µm)	Espessura da parede (µm)
1	1,06	26,34	17,17	4,59
2	1,06	25,78	13,81	5,99
3	0,99	24,51	15,86	4,33
Média	1,04	25,54	15,61	4,97
DP	0,04	0,94	1,69	0,89
CV	3,91	3,67	10,84	17,96

Em que: DP = Desvio padrão (mm ou µm); CV = Coeficiente de variação (%).

Fonte: O autor (2024).

É possível observar que o comprimento médio das fibras da madeira de bracatinga foi de 1,04 mm, semelhante ao valor obtido por Araújo (2004) de 1,04 mm. Trebbi (2015) registrou resultados inferiores para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com uma média de 0,90 mm. Entretanto, Vivian (2015) e Segura (2012) obtiveram valores similares para o mesmo híbrido de *Eucalyptus*, com comprimento das fibras de 1,01 e 1,04 mm, respectivamente. Com base na classificação realizada por Metcalfe e Chalk (1983), as fibras da madeira de bracatinga podem ser classificadas como de tamanho médio (entre 0,9 e 1,6 mm).

Quanto à largura das fibras, a média encontrada foi de 25,54 µm, variando de 24,51 a 26,34 µm, similar ao valor encontrado por Araújo (2004) de 25,17 µm. Ao comparar com os dados disponíveis na literatura para *Eucalyptus*, os valores obtidos se mostram superiores aos encontrados por Vivian (2015) (16,57 µm), Segura (2012) (20,83 µm) e Trebbi (2015) (14,11 µm) para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

No que diz respeito ao diâmetro do lúmen, a média encontrada foi igual a 15,61 µm, com um coeficiente de variação de 10,84%, superior ao encontrado por Araújo (2004) de

12,38  $\mu\text{m}$ . Tal valor também é superior ao encontrado por Vivian (2015) de 8,87  $\mu\text{m}$ , Segura (2012) de 13,41  $\mu\text{m}$  e Trebbi (2015) de 6,91  $\mu\text{m}$ , que estudaram madeiras de híbridos de *Eucalyptus*.

Com relação à espessura da parede celular, a média encontrada foi de 4,97  $\mu\text{m}$ , com um coeficiente de variação de 17,96%, inferior ao encontrado por Araújo (2004) de 6,39  $\mu\text{m}$ . Entretanto, o valor é superior ao encontrado por Vivian (2015) de 3,85  $\mu\text{m}$ , Segura (2012) de 3,71  $\mu\text{m}$  e Trebbi (2015) de 3,60  $\mu\text{m}$  para madeiras de híbridos de *Eucalyptus*. De acordo com a classificação proposta por Manimekalai *et al.* (2002), as paredes das fibras da madeira de bracatinga podem ser classificadas como espessas (entre 3 e 5  $\mu\text{m}$ ).

Na tabela 4 é possível observar os indicadores anatômicos de qualidade da madeira de bracatinga para produção de celulose e papel.

Tabela 4 - Indicadores anatômicos de qualidade da madeira de bracatinga para produção de papel e celulose.

Árvore	Fração parede (%)	Coefficiente de flexibilidade (%)	Índice de Runkel	Índice de enfieltamento
1	35,17	64,83	0,57	40,38
2	46,84	53,16	0,97	41,03
3	35,66	64,34	0,58	40,42
Média	39,22	60,78	0,71	40,61
DP	6,60	6,60	0,23	0,37
CV (%)	16,83	10,86	32,08	0,90

Em que: DP = Desvio padrão (% ou sem unidade); CV = Coeficiente de variação (%).

Fonte: O autor (2024).

A fração parede é expressa pela relação percentual entre a espessura da parede e a largura da fibra. Segundo Shimoyama e Wiecheteck (1993) e Mogóllon e Aguilera (2002), valores acima de 40% indicam que as fibras são rígidas e pouco flexíveis, dificultando a interligação das mesmas, resultando em baixa resistência à tração e ao estouro. Menegazzo (2012) afirma que tais propriedades não são favoráveis a qualidade do papel, dando origem a papéis mais volumosos, porosos, rugosos e absorventes. Nesse sentido observa-se que o valor obtido para a madeira de bracatinga no presente estudo (39,22%) é abaixo limite de 40%, indicando que as fibras da mesma irão apresentar um bom comportamento na produção de papel.

De acordo com a classificação proposta por Klock (2013), o valor encontrado no presente estudo (39,22%) se enquadra no intervalo de 0,35 à 0,50%, indicando que as fibras apresentarão média rigidez. Dessa forma, a madeira de bracatinga pode ser considerada como boa para a produção de papel, indicando boa flexibilidade das fibras.

Ao comparar os resultados com a literatura é possível observar que Barrichelo e Brito (1982) encontraram valor superior de 53% e, Barrichelo e Foelkel (1975) encontraram valor superior de 33,33%, ambos para a bracatinga. O valor obtido no presente estudo é inferior ao descrito para a madeira de *Eucalyptus* por Vivian (2015) de 46%, Trebbi (2015) de 51,23% e Alencar (2002) de 51,23%, porém, superior ao descrito por Segura (2012) de 36%.

O coeficiente de flexibilidade apresentou um valor médio igual a 60,78%, com variações de 53,16 a 64,83%. De acordo com a classificação apresentada por Nisgoski (2005), as fibras da madeira de bracatinga se enquadram no intervalo de 50 a 75%, indicando que as mesmas apresentarão colapso parcial e boa união e superfície de contato entre elas. Para Shimoyama e Wiecheteck (1993), tais características favorecem a união entre as fibras, proporcionando maior flexibilidade, resultando em um aumento da resistência a tração e ao estouro durante a formação do papel, sendo estas características desejáveis para produção de papéis de imprimir e escrever (Colodette, 2004).

Com base nos estudos de Barrichelo e Brito (1982), foi obtido um coeficiente de flexibilidade de 47% para a madeira de bracatinga, valor inferior ao encontrado no presente estudo (60,78%). Tal valor é superior ao encontrado na literatura para a madeira de *Eucalyptus* por Alencar (2002) de 48,72%, Costa (2011) de 49,17% e Vivian (2015) de 54%.

O índice de Runkel é usado para determinar o grau de colapso das fibras durante a produção do papel. De acordo com a classificação proposta por Runkel e apresentada por Tostes *et al.* (2013), o valor encontrado no presente estudo (0,71) se enquadra no intervalo de 0,5 a 1,0, sendo considerada boa para produção de papel. Isso significa que as fibras tem melhor superfície de contato e interligação entre as mesmas, aumentando a resistência do papel (Costa, 2011).

Barrichelo e Brito (1982), em seus estudos, encontraram índice de Runkel igual a 1,13 para a madeira de bracatinga, valor superior ao encontrado no presente estudo (0,71). Tal valor é inferior ao encontrado para a madeira de *Eucalyptus* por Vivian (2015) de 0,90, Trebbi (2015) de 1,04, Alencar (2002) de 1,05 e Costa (2011) de 1,05.

O índice de enfieltramento pode ser definido pela relação entre o comprimento e a largura da fibra. Quanto maior é o valor do índice, maior é a resistência do papel ao rasgo e arrebatamento, sendo indicados valores acima de 50 para a confecção de papéis com as características citadas (Shimoyama; Wiecheteck, 1993; Niskoski *et al.*, 2012). Nesse sentido, observa-se que o valor obtido no estudo para a madeira de bracatinga (40,61) foi inferior nesse quesito.

De acordo com Barrichelo e Brito (1982), o índice de enfieltramento obtido para a madeira de bracatinga foi igual a 41, similar ao encontrado no presente estudo (40,61). Tal valor é inferior ao encontrado na literatura para espécies de *Eucalyptus* por Vivian (2015) de 62,39 e Alencar (2002) de 60,45.

De forma geral, observa-se que as dimensões e os indicadores anatômicos de qualidade das fibras da madeira de bracatinga são similares, e em alguns casos superiores a madeira de *Eucalyptus*, com bom potencial para produção de celulose e papel. Tal espécie pode ser uma boa alternativa ou complemento ao segmento de fibras curtas.

## 5 CONCLUSÃO

Com base na composição química, os teores de holocelulose (67,06%), extrativos (3,01%) e cinzas (0,56%) estão condizentes com os valores encontrados na literatura, e com o que é esperado para folhosas, já o teor de lignina (29,93%) está acima. Com relação a lignina, são indicados estudos mais aprofundados com o intuito de investigar os tipos de lignina e sua proporção, visto que a lignina do tipo siringil é mais facilmente removida durante o processo de deslignificação pelo licor de cozimento.

A densidade básica não apresentou diferenças estatísticas significativas ao longo das posições do fuste. Além disso, a densidade básica ponderada foi igual a  $0,550 \text{ g/cm}^3$ , sendo classificada como média, estando dentro dos limites recomendados para ser usada na produção de papel e celulose.

A análise morfológica indica que o comprimento médio das fibras (1,04 mm) é similar ao encontrado para espécies de *Eucalyptus*, sendo considerada de tamanho médio. Já as demais dimensões, como a largura (25,54  $\mu\text{m}$ ), diâmetro do lúmen (15,61  $\mu\text{m}$ ) e a espessura da parede (4,97  $\mu\text{m}$ ) das fibras são superiores para a madeira de bracatinga em relação ao *Eucalyptus*.

Os indicadores anatômicos demonstraram valores satisfatórios para a madeira de bracatinga ao comparar com espécies de *Eucalyptus* para produção de papel e celulose, para a fração parede (39,22%), coeficiente de flexibilidade (60,78%) e índice de Runkel (0,71), com exceção do índice de enfiletramento (40,61).

De maneira geral, observa-se que a madeira de bracatinga apresenta características físicas, químicas e anatômicas favoráveis para a produção de celulose e papel. A espécie pode ser considerada como uma alternativa ou complemento viável ao segmento de fibras curtas, sendo agregada na forma de mix ou blend de fibras. Além das características tecnológicas apresentadas, é importante ressaltar que a espécie não possui muitos avanços em pesquisas voltadas para a genética, apresentando potencial para investimentos em programas de melhoramento florestal.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ARAÚJO, R. H. **Celulose Kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptus saligna*) misturadas em diferentes proporções**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- ARCE, J. J. C.; BAUER, J. A. *Mimosa scabrella*: Leguminosa promissora para zonas altas. **Silvoenergia**, n. 9, p. 1-4, 1985.
- AHRENS, S. Um modelo matemático para volumetria comercial de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., 1981, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 77-90.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11.941**: Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BALDIN, T. *et al.* Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.
- 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 e Engenharia**, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. **IPEF**, n. 68, p. 1-12, 1979.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Celulose sulfato branqueada de bracatinga. **Brasil Florestal**, n. 49, p. 50, 1982.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Utilização da madeira de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa scabrella*), Embaúba (*Cecropia* sp), Caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e Boleira (*Joannesia princeps*). **IPEF**, n. 10, p.43-56, 1975.
- BARTOSZECK, A. C. P. S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais da**

**Região Metropolitana de Curitiba.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade.** 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

CARDOSO, G. V. *et al.* Adequação da metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. In: 34º Congresso Anual de Celulose e Papel. **Anais [...]** São Paulo: ABTCP, 2001, p. 7.

CAMPOS ARCE, J. J.; BAUER, J. A. *Mimosa scabrella*: leguminosa promissora para zonas altas. **Silvoenergia**. n. 9, p.1-4, 1985. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3131>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CARPANEZZI, A. A.; LAURENT, J. M. E. **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.).** EMBRAPA. Colombo: Centro Nacional de Pesquisas Florestais, 1988.

CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) no Brasil e prioridade para seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL. 7., 1992. Nova Prata. **Anais [...]** Santa Maria: UFSM, 1992, p. 640-655.

CARVALHO, P. E. R. **Bracatinga.** Embrapa Florestas. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. (Circular Técnica, 59).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v.1, p. 221-230, 2003.

COLODETTE, J. L. *et al.* Relative importance of wood density and carbohydrate content on pulping yield and product quality. **Journal of Tianjin University of Science and Technology**, v. 19, p. 71-80, 2004.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

DEMUNER, W. P. **Predição do impacto da madeira em fábrica Kraft de eucalipto.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

DIDONÉ, C. L. S. **Crescimento inicial de *Araucaria angustifolia* estabelecidas em Curitibaanos, SC: uma análise do potencial produtivo.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibaanos, 2015.

DUTRA, V. F. *et al.* Mimosa in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB100978>>. Acesso em: 17 out. 2022

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas, Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

FERREIRA, P. J. T. **Estudos de pastas Kraft de *Eucalyptus globulus*: características estruturais e aptidão papelreira**. Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias. Coimbra. 2000.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira**: teoria. 5. Ed. Belo Oriente: UFV, 1977. 292 p. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/ufv/02.%20Qualidade%20da%20Madeira.%201977.1> Acesso em: 20 de abril de 2024.

FOELKEL, C. E.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]** Campos do Jordão: 1990. p.719-728.

FRIEDERICHS, G. *et al.* Qualidade da madeira e do carvão vegetal de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 6, n. 2, p. 79-87, 2015.

GOMIDE, J. L. *et al.* Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** v. 10, n. 3, p. 220-332, 1989.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2022**. São Paulo: IBÁ, 2022. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

POGGIANI, F.; MONTEIRO, C. C. Efeito da implantação de maciços florestais na reabilitação do solo degradado pela mineração do xisto betuminoso. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]** Campos do Jordão: 1990. p.275-281.

KLEIN, R. M. Aspectos fitossociológicos da bracatinga (*Mimosa scabrella*) In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTOS, 4, 1981. Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: 1981. p. 145-148.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4ª Edição revisada. Curitiba: UFPR, 2013.

KIYOHARA, P. K.; REDKO, B. V. P. Comparação de características de clones de *Eucalyptus* spp plantado em regiões diferentes por espectroscopia eletrônica de varredura. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 3., 1997. Salvador. **Anais [...]** Salvador: 1997. p.69.

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

MAZUCHOWSKI, J. Z.; BECKER, J. C. **Relatório de Atividades do Projeto Unidades Rurais de Desenvolvimento Integrado 2004 a 2006**. Instituto EMATER e Agência de Desenvolvimento da Mesorregião Vale do Ribeira / Guaraqueçaba. Curitiba. 2006. 150p.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celulose branqueada de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

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

MEZZOMO, L. X. *et al.* Potencialidade de quatro espécies de *Eucalyptus* cultivados na Bahia, para produção de celulose solúvel branqueada. **O Papel**, v. 11, p. 71-80, 1997.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MIRANDA, I.; ALMEIDA, M. H.; PEREIRA, H. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 149, n. 1/3, p. 235-240, 2001.

MOGOLLÓN, G.; AGUILERA, A. **Guía teórica y práctica de morfología de la fibra.** Mérida – Venezuela: Universidad de Los Andes, 48p. 2002.

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

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**, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

OLIVEIRA, R. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** 1988. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

PEREIRA, J. C. D.; LAVORANTI, O. J. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* Benth. para fins energéticos (Comparison on wood quality among three *Mimosa scabrella* Benth. provenances for energy purposes). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 12, p 30-34, 1986.

REGENSBURGER, B.; COMIN, J. J.; AUMOND, J. Integração de técnicas do solo, plantas e animais para recuperar áreas degradadas. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1773-1776, 2008.

SCANAVACA, L.; GÁRCIA, J. N. **Densidade Básica da Madeira de Eucalipto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

RODRIGUES, J.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Influence of extractives and particle size on the FTIR lignin content determination in eucalypt wood. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 3., 1997, Salvador. **Anais [...]** Salvador: 1996. p. 242-245.

SANTOS, C. R. **Métodos não convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ.** 2000. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SBARDELLA, M.; VIVIAN, M. A.; MODES, K. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica. **Madeiras Nativas e Plantadas do Brasil: Qualidade, Pesquisas e Atualidades**, v. 2, p. 67-80, 2021.

SCHIMIDT, S. L. **Propriedades energéticas da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) de ocorrência em Curitiba, SC.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2017.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®.** 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SILVA, J. *et al.*, Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista de Madeira**, p. 90-92, 2001.

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**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

TREBBI, L. S. **Avaliação do processo *Compact Cooking*<sup>TM</sup> com o uso de aditivos para a polpação kraft de eucalipto.** 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2015.

TOSTES, L. C. L. *et al.* Morfometria das fibras do sistema radicular de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Família Araceae; sub-gênero Meconostigma). **Bioma Amazônia**, v. 3, n. 3, p. 15-22, 2013.

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

VALÉRIO, A. F. *et al.* Determinação da densidade básica da madeira de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Pesquisa aplicada & Agrotecologia**, v. 1, n. 1, 2008.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, M: SIF, 1974. 21 p.

VIVIAN, M. A. **Aumento da eficiência do processo kraft de polpação a partir de pré-tratamento de cavacos de madeira de eucalipto.** 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

VIVIAN, M. A. *et al.* Aspectos físico-químico-anatômicos da madeira de Liquidâmbar visando à produção de polpa e papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 4, p. 741-751, 2023.

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