

Marina Sbardella

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*
VISANDO A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**

Curitibanos

2018



Marina Sbardella

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*
VISANDO A 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 elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Sbardella, Marina

Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*
visando a produção de polpa celulósica / Marina Sbardella ;
orientador, Magnos Alan Vivian, 2018.

34 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Celulose e Papel. 3. Fibra
Curta. 4. Tecnologia da Madeira. I. Vivian, Magnos Alan.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Florestal. III. Título.

Marina Sbardella

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*
VISANDO A 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, 03 de dezembro de 2018.



Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Karina Soares Modes, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina



Ronan Corrêa

Engenheiro Florestal

AGRADECIMENTOS

À Deus, que através de sua infinita misericórdia me proporcionou saúde e sabedoria para concluir mais esta etapa.

Aos meus pais, Emires e João Batista, que nunca mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui e aos irmãos Gizele e João Paulo, que sempre me incentivaram e me apoiaram. À vocês, todo meu amor.

À toda minha família, que sempre me deu apoio e amor, em especial aos meus tios e minha avó Enoema, que sempre me receberam com muito entusiasmo e de braços abertos.

Ao Prof. Magnos Alan Vivian, pela orientação, paciência e confiança.

À Mônica Aparecida Aguiar dos Santos, pela parceria, por todas as oportunidades e ensinamentos.

Aos os professores e servidores da UFSC Curitibanos, pelo suporte e ensino.

Aos amigos que fiz ao longo desta jornada, em especial à Daniceli, Vanessa, Mayrine, Aline, Melina, Jânio e Ronan. Vocês são a família que pude escolher.

À todos minha gratidão!

RESUMO

O Brasil é um país altamente eficiente na produção de polpa celulósica, o qual tem investido constantemente na melhoria dos processos e em programas de melhoramento genético florestal. Aliado a isto é importante estudar outras espécies, e aumentar as opções de matéria prima para o setor. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a densidade básica e a morfologia das fibras da madeira de *Eucalyptus dunnii*, visando a produção de polpa celulósica. Para o estudo, foram utilizadas três árvores, com 7 anos de idade, de um plantio localizado em Papanduva, Santa Catarina. De cada árvore foram retirados discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura das posições da base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, considerando 6,0 cm na ponta fina. Os discos de cada posição foram transformados em cavacos para determinação da densidade básica da madeira, através de uma amostra composta para cada árvore, seguindo o método do máximo teor de umidade, conforme descrito na norma ABNT 11941, (2003). Para a caracterização morfológica das fibras foram utilizados discos da base de cada árvore, a partir dos quais amostraram-se fragmentos das posições 0, 50 e 100% da distância radial medula-casca. Destas posições foram confeccionados pequenos fragmentos (palitos) visando a maceração, com o intuito de se obter informações sobre: comprimento (mm), largura (μm) e diâmetro do lúmen (μm). Na sequência foram calculados: espessura da parede celular, fração parede, índice de Runkel, índice de flexibilidade e índice de enfeltramento. A densidade básica média observada para a espécie foi $0,511 \text{ g/cm}^3$, valor que encontra-se dentro dos padrões requeridos para a produção de polpa celulósica de fibra curta. Em relação a caracterização morfológica das fibras observaram-se os valores médios de: 0,97 mm de comprimento; 17,00 μm de largura; 9,98 μm de diâmetro do lúmen e 3,51 μm de espessura de parede. Apenas o comprimento de fibras e espessura de parede apresentaram tendência de aumento no sentido medula-casca. Em relação aos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica, encontraram-se os seguintes valores médios: 41,81% de fração parede; 0,79 de índice de Runkel; 58,18% de coeficiente de flexibilidade; 57,09 de índice de enfeltramento. Os resultados observados para a madeira de *E. dunnii* são satisfatórios, uma vez que os valores encontrados para o índice de Runkel, fração parede e índice de enfeltramento caracterizam suas fibras como boas para a produção de celulose.

Palavras-chave: Celulose e papel. Fibra curta. Tecnologia da madeira. Densidade básica.

ABSTRACT

The Brazil is a highly efficient in the production of pulp and paper, which has constantly invested in the improvement of processes and in forest genetic improvement programs. Allied to this is important to study other species, and increase the options of raw materials to the industry. In this context, the present study aims to assess the the basic density and morphology of the wood fibers of, aiming the production of cellulosic pulp. For the study, 3 trees, 7 years old, were used from a planting, located in Papanduva, Santa Catarina. From each tree were removed disks with approximately 3.0 cm of thickness of the following positions: base, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of the tree, seeing 6.0 cm in fine point. The disks of each position were transformed into chips to determine the basic density of the wood, through a composite sample for each tree, following the method of maximum moisture content, as described in ABNT 11941, (2003). For the morphological characterization of the fibers, disks of the base of each tree were used, from which fragments of 0, 50 and 100% of marrow-bark. From these positions small fragments (sticks) were made for maceration, in order to obtain information about: length (mm), width (μm) and diameter of the lumen (μm). The following were calculated: thickness of cell wall fraction wall, Runkel, flexibility and enfeltramento index. The average basic density observed for the species was 0.511 g/cm^3 , value that is within the standards required for the production of short-fiber pulp. In relation to the morphological characterization of the fibers, the mean values were: 0.97 mm in the length; $17.00 \mu\text{m}$ wide; $9.98 \mu\text{m}$ diameter of the lumen and $3.51 \mu\text{m}$ of thickness of wall. Only the fiber length and wall thickness tend to increase in the spinal-bark direction. In relation to the morphological parameters indicating the quality of the cellulosic pulp, the following average values were found: 41.81% of wall fraction; 0.79 Runkel index; 58.18% of flexibility coefficient; 57.09 of index of enfeltramento. The results observed for wood of *E. dunnii* are satisfactory, since the values found for the Runkel index, wall fraction and index of enfeltramento characterize their fibers as good for the production of cellulose.

Keywords: Cellulose and paper. Short fiber. Wood technology. Basic density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Papanduva/SC.....	19
Figura 2 - Representação da marcação da bagueta central com a demarcação das posições 0 (P1), 50 (P2) e 100% (P3) de um disco da base retirado da árvore 1.....	20
Figura 3- Processo de maceração. A) Processo de maceração realizado em uma solução contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção 5:2:1). B) Procedimento de lavagem das fibras. C) Fibras armazenadas em tudo de ensaio com água destilada.	21
Figura 4 - Média das dimensões das fibras de <i>E. dunnii</i> no sentido medula-casca. (A - Comprimento; B - Espessura de parede celular; C - Largura; D - Diâmetro do lúmen) por posição.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade básica média de <i>E.dunnii</i>	23
Tabela 2 - Dimensões médias das fibras de <i>Eucalyptus dunnii</i>	24
Tabela 3 - Dimensões das fibras de <i>Eucalyptus dunnii</i> comparadas com outras espécies florestais utilizadas para a produção de celulose e papel.	25
Tabela 4 - Comparação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica das fibras de <i>E. dunnii</i> com outras espécies de <i>Eucalyptus</i>	27
Tabela 5 - Resultados da Análise de Variância (ANOVA) obtidos para a morfologia das fibras.	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	PANORAMA DO SETOR DE CELULOSE	13
2.2	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	14
2.3	INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA NA PRODUÇÃO DA POLPA	15
2.4	ANATOMIA DA MADEIRA DE FOLHOSAS E SUA INFLUÊNCIA NA POLPAÇÃO	16
2.5	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	COLETA E PREPARO DO MATERIAL	19
3.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA.....	19
3.3	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS	20
3.3.1	Preparo das amostras para análises morfológicas	20
3.3.2	Processo de maceração	21
3.3.3	Montagem das lâminas, captura das imagens e mensuração das fibras	21
3.3.4	Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica	22
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	DENSIDADE BÁSICA	23
4.2	MORFOLOGIA DAS FIBRAS	24
4.2.1	Dimensões das fibras	24
4.2.2	Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica	27
5	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	30
	APÊNDICE A – Análise de Variância	34

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país altamente eficiente na produção de celulose e papel. A fabricação e o comércio colaboram para o desenvolvimento da economia nacional e mundial. Seu constante desenvolvimento e elevada produtividade são oriundos de longos anos de pesquisa e dos altos investimentos no setor, aliados às condições edafoclimáticas bastante favoráveis (IBÁ, 2017).

Atualmente o país conta com uma área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo 35% pertencentes a empresas do segmento de celulose, gerando uma produção de 19,5 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como o segundo maior produtor mundial. Do total de celulose produzida no país, 86% pertencem ao segmento de fibra curta dentro do qual destacam-se como mais utilizadas as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, que tornou-se a matéria prima mais consagrada devido ao melhoramento avançado (IBÁ, 2017; IBÁ, 2018).

A grande demanda de produção exigida dentro do setor de celulose e papel requer o desenvolvimento de novas tecnologias e estudos utilizando matérias primas que resultem no aumento da produção e conciliem a isto, o manejo sustentável (IBÁ, 2017).

Segundo Fantuzzi Neto (2012), a produção de celulose de alta qualidade requer matéria prima com as características adequadas a esta finalidade, visto que quanto maior a variabilidade da madeira, maior será a tendência a prejuízos futuros, que poderão vir a reduzir o faturamento. A constante busca por matérias primas com características de interesse tornou-se fato entre as empresas do ramo da celulose e papel, com vista a aumentar a produção, o rendimento e de melhorar as propriedades do produto final (JARDIM et al., 2017).

A espécie *Eucalyptus dunnii* tornou-se atrativa para empresas do setor de celulose e papel na região Sul devido seu excelente desenvolvimento silvicultural, resistência ao frio e tolerância à geadas. Destaca-se o bom desenvolvimento da espécie em regiões do planalto e serra dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Em Santa Catarina, os plantios comerciais são recomendados em locais com altitude inferior a 1000 metros, devido aos cuidados relacionados à ocorrência de geadas (EMBRAPA, 1988; RAMOS et al., 2006).

Dentre as principais características que são consideradas na escolha de espécies para a produção de celulose estão as físicas e anatômicas. Das características físicas, a densidade é a mais importante por influenciar na qualidade da polpa, do papel e na quantidade de produto

final. Quanto às características anatômicas da madeira, destacam-se as dimensões das fibras, que são indicadores importantes da qualidade de uma madeira para a fabricação de papel.

A partir do conhecimento destas características é possível inferir sobre o real potencial da espécie para tal fim, comparando-a com as principais espécies/híbridos do gênero *Eucalyptus* utilizadas no Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características físicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando à produção de polpa celulósica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a densidade básica da madeira;
- Avaliar a morfologia das fibras da madeira e sua variação no sentido medula-casca;
- Calcular os indicadores de qualidade, visando a produção de polpa celulósica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PANORAMA DO SETOR DE CELULOSE

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2018), atualmente a área ocupada com florestas plantadas no Brasil totaliza 7,84 milhões de hectares, sendo que destas, 35% pertence ao segmento de celulose e papel. Embora as florestas plantadas representem menos de 1% da área do país, contribuem com 1,1 % do PIB Nacional e com 6,1% do PIB Industrial brasileiro, apresentando grande potencial de colaboração para construção da economia verde. Além de que, contribui para a geração de 3,7 milhões de empregos de forma direta e indireta (IBÁ, 2018).

Dos 19,5 milhões de toneladas de celulose produzida, cerca de 86% pertence ao segmento de celulose fibra curta, o qual utilizada espécies do gênero *Eucalyptus* para a produção. O país ocupa lugar de destaque, especialmente na exportação de celulose fibra curta, sendo que 33% da produção permanece no mercado interno e 67% é exportado para países como Estados Unidos, China e países da Europa. O restante da produção corresponde aos segmentos de celulose fibra longa (11%) e pastas de alto rendimento (3%) (IBÁ, 2017).

Cada fibra apresenta propriedades específicas que as tornam adequadas para fabricação de determinado tipo de papel. Fibras curtas, apresentam melhores características absorventes e por isso são destinadas à fabricação de produtos menos rígidos, como papel de imprimir e escrever e papéis absorventes. As fibras longas destinam-se à fabricação de embalagens, por apresentarem maior resistência. E a pasta de alto rendimento, tem seu uso na produção de papel jornal ou pode ser misturada com as demais fibras para conferir maior resistência à estas. Em cada gênero, espécie e até mesmo clone, apresenta características específicas adequadas à fabricação de determinados tipos de papel (VIDAL; DA HORA, 2014).

Com relação a produção de papel, no ano de 2016 o Brasil alcançou o 8º lugar no ranking mundial, produzindo 10,3 milhões de toneladas. Destas, 80% permaneceu no mercado doméstico, sendo o restante, exportado para países como Estados Unidos, Argentina e Chile (IBÁ, 2017).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores, no ano de 2016, os principais tipos de papel produzidos foram: Papéis sanitários (Tissue), papel de imprimir e escrever, papel embalagem, papéis especiais, papel imprensa e papel cartão. Em relação ao ano anterior, as produções de papel sanitário e de papel de imprimir e escrever apresentaram um aumento de

2,9% e 0,6%, respectivamente, enquanto os demais papéis apresentaram retrações em suas produções.

2.2 *Eucalyptus dunnii* Maiden

A espécie *Eucalyptus dunnii* tem sua ocorrência natural em duas áreas isoladas que situam-se a aproximadamente 250 km a oeste de Coff's Harbour em New South Wales até o Oeste de Warwick, em Queensland, Austrália (FERREIRA, 1979). Na Austrália, a espécie atinge de 40 a 50 metros de altura e o seu crescimento é considerado um dos mais rápidos entre as espécies do gênero *Eucalyptus*, sendo bastante tolerante ao frio (EMBRAPA, 1988).

Em sua área de ocorrência natural destaca-se um clima quente e úmido, com médias de temperatura máxima no mês mais quente varia entre 27 a 30°C e médias de temperaturas mínimas do mês mais frio variam entre 0 a 3°C. Ainda há a ocorrência de 20 a 60 geadas por ano, porém de baixa intensidade. A precipitação pluviométrica média anual da região varia de 1000 a 1750 mm com chuvas concentradas no verão, mas há meses com menos de 40 mm de precipitação (EMBRAPA, 1988).

A prática de plantios utilizando *E. dunnii* ocorre principalmente pelo excelente desenvolvimento silvicultural da espécie, pela uniformidade dos talhões e por possuir madeira com boas características (EMBRAPA, 1988; RAMOS et al., 2006). A baixa produção de sementes pela espécie é um fator limitante para plantios comerciais. Segundo Monteiro (1990), as baixas temperaturas e a ocorrência de geadas na região Sul do Brasil tornaram-se barreiras que dificultam o cultivo amplo de espécies de eucalipto, exceto para a espécie *E. dunnii*, que apresenta maior tolerância ao frio.

De acordo com Paiva et al. (2011), a madeira do *E. dunnii* é considerada muito semelhante à madeira de *E. grandis*, sendo que o seu principal aproveitamento está voltado para a indústria de papel e celulose.

Devido a suas características silviculturais, a espécie pode ser considerada promissora, principalmente para plantios localizados na região Sul do país. Dobner Jr et al. (2017) relatam que o incremento médio anual (IMA) para a espécie aos 10 anos pode variar de 25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ à 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo este influenciado pelo sítio.

Segundo Ferreira et al. (1997), o menor teor de lignina encontrados nos cavacos de *E. dunnii* em relação a *E. grandis* é um fator benéfico para a produção de celulose, uma vez que levará a redução do teor de lignina residual na polpa. Outro fator atrativo às empresas de

celulose é a densidade da madeira, sendo que pode trazer como consequência maior rendimento em celulose por operação de cozimento.

2.3 INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA NA PRODUÇÃO DA POLPA

A densidade básica, definida como a relação da massa seca de madeira e seu volume em estado de completa saturação, tornou-se um índice físico de qualidade, o qual permite indicações sobre o rendimento do processo de produção de celulose. Devido a facilidade de determinação e as relações com as utilizações, a densidade básica pode ser considerada como um índice universal para avaliar a qualidade da madeira para a produção de celulose (FOELKEL et al.,1992).

Segundo Dinus e Welt (1997), a densidade básica da madeira é um dos parâmetros importantes na produção de papel, que contribui para a resistência do mesmo e depende das proporções de lenho inicial e tardio, do tamanho e número de fibras e da espessura da parede das fibras.

As variações da densidade básica entre espécies ou até mesmo dentro de uma mesma espécie tem forte relação com questões ambientais e genéticas. Estas variações acontecem pelas diferenças anatômicas presentes na madeira (como comprimento, largura, diâmetro de lúmen e espessura de parede celular das fibras), além de fatores geográficos, clima, índice de sitio e manejos silviculturais aplicados (SOUZA *et al.*, 1986).

Queiroz et al. (2004) relata que uma adequada avaliação da densidade básica fornece indicações sobre a qualidade de impregnação dos cavacos e rendimento do processo e comumente pode ser relacionada com as características de qualidade e de resistência da polpa. O mesmo autor relata que para algumas espécies de *Eucalyptus*, madeiras de baixa densidade demonstram resultados mais favoráveis à produção de celulose, visto que exigiu menor álcali para cozimento e apresentou maior rendimento depurado. Porém, cabe destacar que a utilização de madeiras de menor densidade, exige o maior consumo específico de madeira, o que afeta a produtividade industrial.

2.4 ANATOMIA DA MADEIRA DE FOLHOSAS E SUA INFLUÊNCIA NA POLPAÇÃO

A madeira é um tecido complexo, formado a partir do cambio vascular, que é constituído por diferentes tipos de células lenhosas, organizadas em diferentes arranjos e proporções que influenciam em suas propriedades tecnológicas. As diferenças nas propriedades anatômicas da madeira podem dificultar ou facilitar a impregnação dos cavacos com reagentes, além de influenciar na qualidade do tipo de papel a ser produzido (FOELKEL, 2009; EVANGELISTA et al., 2010).

Os estudos anatômicos da madeira possibilitam a identificação das espécies gerando informações sobre a estrutura do lenho, permitindo identificar a relação existente entre o lenho e as características gerais da madeira, principalmente no que se refere à densidade, resistência mecânica, permeabilidade, resistência natural e trabalhabilidade (SILVA et al., 2007).

Nas madeiras de folhosas predominam as células denominadas fibras, que são responsáveis pela sustentação mecânica da madeira. As fibras, bem como os traqueídeos presentes nas coníferas, são os elementos de interesse para a fabricação de papel. As fibras extraídas de espécies de folhosas, são caracterizadas por apresentarem comprimento inferior a 1,5 μm . Estas podem ser extraídas da madeira por processos mecânicos ou químicos ou até mesmo por uma combinação dos dois, originando o que se chama de pasta ou polpa celulósica (MANHÃES, 2011; SENAI, 2013).

Segundo Gomide et al. (2005), conhecer as características anatômicas das fibras permite que sejam previstas as propriedades do papel produzido. A qualidade do papel é influenciada pela quantidade destas por unidade de massa e pelas características morfológicas das fibras. As fibras curtas, que são geradas no processo utilizando folhosas, contribuem para uma boa formação da folha.

A espessura da parede celular é uma característica muito relevante quando se trata de produzir papel de impressão com características como maciez e opacidade. A opacidade, por exemplo, pode ser melhorada a partir da utilização de polpa com maior número de fibras por grama, em razão do maior número de superfícies ópticas para a dispersão de luz na estrutura do papel (GOMIDE et al., 2005).

A largura das fibras está relacionada aos fatores genéticos e ambientais, sendo que suas dimensões são influenciadas por fatores como diferenças de idade, material genético e local de crescimento. De acordo com informações contidas na literatura, há uma tendência no aumento das dimensões das fibras e no diâmetro dos vasos da madeira de eucalipto, no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Fibras localizadas nas camadas de crescimento mais próximas

a medula apresentam menor dimensão em relação às que localizam-se nas camadas externas, ou seja, próximo à casca (SILVA, 2002; SILVA et al., 2007).

2.5 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA

De acordo com Nisgoski et al. (2012), as propriedades desejadas do papel são influenciadas pelas características morfológicas das fibras como a largura, comprimento, espessura da parede e o diâmetro do lúmen. Por meio desses valores é possível estabelecer o comportamento e a capacidade papelreira, estimando parâmetros como fração parede, índice de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel.

A espessura da parede celular é uma característica de grande relevância quando se trata de produzir papel de impressão, com características como maciez e opacidade. Polpas produzidas a partir de fibras que apresentem paredes de maior espessura, resultarão em um produto com maior número de fibras por grama e em papéis com maiores volumes específicos aparente (GOMIDE et al., 2005). A espessura da parede das fibras irá influenciar no diâmetro do lúmen, ou melhor, na quantidade de espaços vazios na madeira, sendo que, quanto maior for o diâmetro, menor será a densidade da madeira (SILVA, 2002; SILVA et al., 2007).

A fração parede é a relação entre a espessura da parede e a largura da fibra. Esta indica a rigidez da fibra e influencia diretamente a qualidade da celulose, estando relacionada à resistência ao rasgo. Indica-se para celulose de boa qualidade a utilização de fibras com índice de fração parede inferiores à 40%, visto que acima disso a celulose produzida será de qualidade inferior em virtude da alta rigidez das fibras, baixa flexibilidade e de dificuldades de interligações entre as mesmas (FOELKEL; BARRICHELO, 1975; DINWOODIE, 1965 *apud* NISGOSKI et al., 2012).

A relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra pode ser observada a partir do coeficiente de flexibilidade. O mesmo tem influência na resistência à tração e o estouro do papel. Quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, mais fácil será a ligação entre as fibras, conferindo assim melhor resistência ao papel (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

Já o índice de enfiamento é a relação entre o comprimento e a largura da fibra e está muito associada à resistência ao rasgo. Maiores valores deste índice caracterizam fibras mais flexíveis (DINWOODIE, 1965).

O índice de Runkel é a relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lúmen da

fibra. O índice fornece um diagnóstico sobre o uso das fibras para o papel, tendo relação direta com a resistência à tração e ao arrebentamento (SANTOS, 2005). São cinco grupos estabelecidos para o índice de Runkel, onde as fibras classificam-se em grupo I (até 0,25), consideradas excelentes para produção de papel; grupo II (intervalo de 0,25 a 0,50), consideradas muito boas para papel; grupo III (intervalo de 0,50 a 1,00), consideradas boas para papel; grupo IV (intervalo 1,00 a 2,00), consideradas regulares para papel; e grupo V (maiores que 2,00), consideradas ruins para papel (RUNKEL, 1952 *apud* ROCHA; POTIGUARA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para a realização do presente estudo foi utilizada a madeira de *Eucalyptus dunnii* com 7 anos de idade provenientes de um plantio localizado no município de Papanduva/SC (Figura 1). Na região o tipo de clima predominante, de acordo com a classificação de Koeppen é Cfb (SANTA CATARINA, 1986).

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Papanduva/SC



Fonte: Google imagens, 2017.

Foram coletadas três árvores médias do povoamento, das quais foram amostrados discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura das seguintes posições: 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, considerando 6,0 cm na ponta fina. Um dos discos da base foi utilizado para a avaliação da morfologia das fibras e os discos das demais posições foram transformados em cavacos e misturados gerando uma amostra composta para determinação da densidade básica da madeira.

Estes discos foram devidamente identificados, por árvore e altura, e encaminhados ao Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica de cada árvore foi determinada seguindo o método do máximo teor de umidade, conforme descrito na norma ABNT 11941, (2003) (Equação 1). Para isso, os discos de cada posição foram transformados em cavacos misturados, gerando amostra composta por árvore. A densidade básica de cada árvore foi obtida a partir da média de 10 repetições, de 100g

de cavacos cada.

$$Db = \frac{1}{\frac{Mu}{Ms} - 0,346} \quad (1)$$

Em que: Db – densidade básica, g/cm³; Mu – massa úmida, g; Ms – massa seca, g.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS

Para a caracterização morfológica das fibras foram preparadas lâminas de macerado com o intuito de se obter informações sobre: comprimento (mm), largura (µm) e diâmetro do lúmen (µm). Na sequência foram calculados: espessura da parede celular, fração parede, índice de Runkel, índice de flexibilidade e índice de enfeltramento.

3.3.1 Preparo das amostras para análises morfológicas

Para a determinação das propriedades morfológicas das fibras da madeira foi utilizado o disco da base (0%), de cada árvore.

Primeiramente os discos foram lixados, para melhor visualização e na sequência serem marcadas baguetas centrais no sentido medula-casca (Figura 2). A partir do conhecimento do comprimento radial dos discos foram calculadas as posições 0, 50 e 100% da distância medula-casca. Destas posições foram confeccionados pequenos fragmentos (palitos) visando a maceração.

Figura 2 - Representação da marcação da bagueta central com a demarcação das posições 0 (P1), 50 (P2) e 100% (P3) de um disco da base retirado da árvore 1.

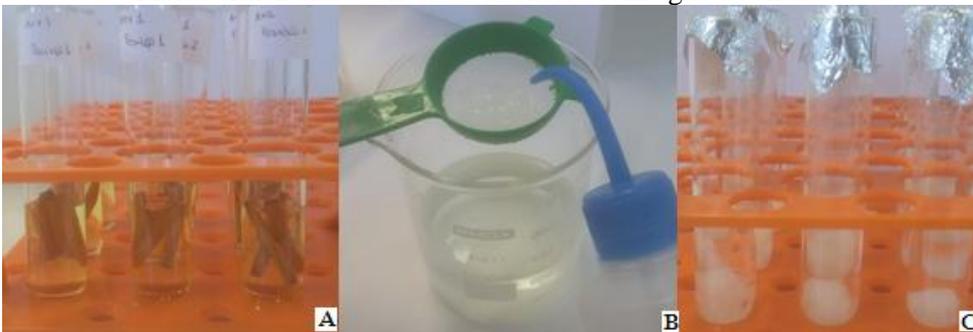


Fonte: O autor

3.3.2 Processo de maceração

O processo de maceração seguiu a metodologia descrita por Sarto (2012), sendo realizado em uma solução contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção 5:2:1) (Figura 3A). Para isso, os fragmentos foram dispostos em tubos de ensaio e submetidos a solução de maceração em banho-maria (a 100°C), por aproximadamente uma hora, até individualização das fibras. Finalizado esse período as fibras foram retiradas, lavadas e mantidas em tudo de ensaio com água destilada (Figuras 3B e 3C).

Figura 3- Processo de maceração. A) Processo de maceração realizado em uma solução contendo ácido acético, ácido nítrico e água (proporção 5:2:1). B) Procedimento de lavagem das fibras. C) Fibras armazenadas em tudo de ensaio com água destilada.



Fonte: O autor.

3.3.3 Montagem das lâminas, captura das imagens e mensuração das fibras

A montagem das lâminas foi realizada utilizando o material macerado em suspensão, sendo adicionada uma gota de safranina, uma de glicerina e uma de água. De cada lâmina foram obtidas imagens em microscópio com câmera digital acoplada e software específico para aquisição das mesmas. Para captura das imagens de comprimento foi utilizado aumento de 40x, já para largura e diâmetro do lúmen utilizou-se o aumento de 400x. No total, foram mensuradas as dimensões de 35 fibras para comprimento e 35 para largura e diâmetro do lúmen para cada posição radial medula-casca, baseando-se nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). A espessura da parede foi determinada pela equação 2.

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

Em que: EP = espessura da parede celular, μm ; L = largura da fibra, μm ; DL = diâmetro do lúmen da fibra, μm .

3.3.4 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

Com os valores obtidos das dimensões das fibras foram calculados os indicadores de qualidade da polpa celulósica, visando avaliar o potencial da madeira de *E.dunnii* para esta finalidade. Entre os parâmetros calculados estão: Índice de Runkel, Índice de flexibilidade, Índice de enfiamento e fração parede, conforme as equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente:

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL} \quad (3)$$

$$IF (\%) = \frac{DL}{L} \times 100 \quad (4)$$

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

$$FP (\%) = \frac{2 \times EP}{L} \times 100 \quad (6)$$

Em que: IR – índice de Runkel; IF – índice de flexibilidade, %; IE – índice de enfiamento; FR – fração parede, %; EP – espessura da parede celular, μm ; L – largura da fibra, μm ; DL – diâmetro do lúmen, μm ; C – comprimento da fibra, mm.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos no presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas, utilizando os programas Excel® 2013 e o software SPSS 15.0.

A avaliação da densidade básica consistiu em uma análise estatística. Já para a morfologia das fibras foi aplicada uma análise de variância (ANOVA), com teste de Tukey, a 5% de probabilidade para avaliar a variação radial da dimensão das fibras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA

Os valores obtidos na determinação da densidade básica para cada árvore e a média para a espécie *E. dunnii* podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 - Densidade básica média de *E.dunnii*.

Árvore	Densidade básica (g/cm ³)
1	0,514
2	0,491
3	0,527
Média	0,511
DP	0,02
CV (%)	3,98

DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação.

A densidade básica média da madeira de *E. dunnii* foi de 0,511 g/cm³, estando este valor dentro dos requeridos para a produção de celulose fibra curta. Gonçalves et al. (2014) estudando as características da madeira de *Eucalyptus urograndis* com 8 anos de idade, encontraram a densidade de 0,510 g/cm³, sendo este similar ao encontrado no presente estudo. Já em um estudo realizado por Ribeiro e Filho (1993), a densidade básica encontrada para a madeira de *E.dunnii* com 5 anos de idade foi de 0,524 g/cm³, sendo este valor superior ao encontrado no presente estudo.

Milagres (2009) relata que a densidade básica pode variar entre indivíduos da mesma espécie e até mesmo dentro da própria árvore. Essas variações são ocasionadas por mudanças nas proporções dos vasos e espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da densidade básica da madeira tem forte relação com a espessura da parede celular, sendo que quanto mais espessa, maior será o valor da densidade básica. Isso também ocorre de maneira inversa, sendo que o aumento na proporção dos vasos leva à redução da densidade da madeira (SOUZA, 2012).

Para a produção de celulose, deve-se dar preferência para madeiras com densidades que variam entre 0,400 a 0,550 g/cm³ (SILVA et al., 2001). A utilização de madeiras com densidades inferiores a 0,400 g/cm³, resulta no aumento do consumo específico do material, o que torna o processo de produção pouco vantajoso, em virtude de limitações em relação ao fornecimento de matéria prima. Enquanto que, utilizar madeiras com densidades superiores a 0,550 g/cm³ acarreta em maior desgaste das facas picadoras e em cavacos de maiores

dimensões, o que dificulta a impregnação do licor nos mesmos, levando ao aumento no teor de rejeitos, resultando na queda do rendimento depurado (SILVA et al., 2001).

Desta forma a madeira de *E. dunnii* avaliada no estudo encontra-se dentro da faixa ideal para produção de polpa celulósica.

4.2 MORFOLOGIA DAS FIBRAS

4.2.1 Dimensões das fibras

Os valores encontrados para a morfologia das fibras da madeira de *E. dunnii* podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões médias das fibras de *Eucalyptus dunnii*.

Árvore	C (mm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
1	0,94	16,20	3,11	9,98
2	1,00	16,74	3,58	9,58
3	0,97	18,05	3,83	10,39
Média	0,97	17,00	9,98	3,51
DP	0,16	3,20	2,95	0,94
CV (%)	16,77	18,83	29,57	26,83

C- Comprimento; L – Largura; DL – Diâmetro do lúmen; EP – Espessura da Parede; DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação.

Observa-se que o diâmetro do lúmen apresentou maior variação, e o comprimento das fibras apresentou menor variação. De maneira geral, as dimensões medias das fibras dos três indivíduos avaliados apresentam semelhanças entre si. A variação observada nos valores médios entre os indivíduos ocorre em virtude da presença de madeira juvenil e adulta, lenho inicial e tardio, que variam entre os indivíduos. Zobel & Buijtenen (1989), relatam que é comum observar fibras mais longas na base das árvores e que esta variação pode ser explicada pelo aumento na proporção de lenho juvenil. Além disso, fatores ambientais e genéticos, bem como à idade da árvore também podem influenciar nas dimensões das fibras.

A relação das dimensões, juntamente com os dados de outras espécies florestais utilizadas para a produção de celulose e papel, do segmento de fibras curtas, podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões das fibras de *Eucalyptus dunnii* comparadas com outras espécies florestais utilizadas para a produção de celulose e papel.

	Idade	C (mm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
<i>Eucalyptus dunnii</i> ¹	7	0,97	17,00	9,98	3,51
<i>Eucalyptus dunnii</i> ²	5	0,98	17,00	-	4,30
<i>Eucalyptus saligna</i> ³	5	1,00	19,20	13,00	3,10
<i>Eucalyptus urograndis</i> ⁴	8	0,90	16,91	5,59	5,61

C- Comprimento; L – Largura; DL – Diâmetro do lúmen; EP – Espessura da Parede;

Fonte: ¹Presente estudo; ²Baldin et al. (2017); ³Foelkel; Barrichelo (1975); ⁴González et al. (2014).

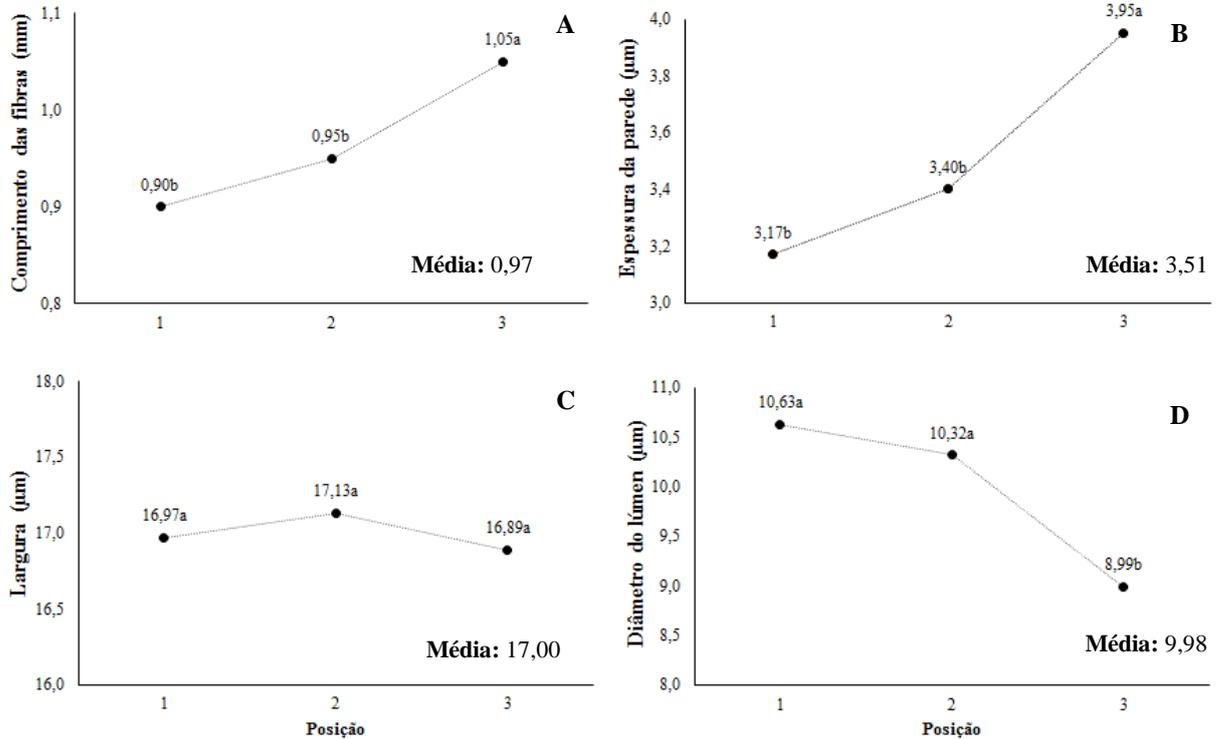
De acordo com a Tabela 3, o comprimento, a largura e o diâmetro do lúmen das fibras de *E. dunnii* foram inferiores aos valores encontrados para as madeiras de *E. dunnii* e *E. saligna*, enquanto que em relação a madeira do híbrido *E. urograndis* os valores apresentaram comportamento inverso. Foelkel (1977) relata que quanto mais longas forem as fibras de uma madeira, maior será a tendência das mesmas manterem-se unidas quando submetidas a grandes esforços. Para Santos (2005), as fibras curtas são, no geral, recomendadas para produção de papéis de melhores características de formação e lisura superficial.

A largura, juntamente com a espessura da parede das fibras, influenciam no diâmetro do lúmen, ou seja, na quantidade de espaços vazios encontrados na madeira. Quanto mais largo e espesso for esse diâmetro, menor será a densidade da madeira em estudo. O aumento desta dimensão resulta na redução da resistência do papel ao arrebentamento, o que pode ser considerada uma desvantagem (SILVA, 2002; SILVA et al., 2007).

De acordo com a Tabela 3 o valor médio para espessura da parede celular da madeira de *E. dunnii* foi superior apenas ao valor médio observado por Silva (2002), estudando *E. saligna*. As demais espécies em comparação e o valor obtido por Baldin et al. (2017) para *E. dunnii* (4,3 µm) foram superiores. Esta dimensão é de grande relevância quando se trata de produzir papel de impressão, com características como maciez e opacidade. Polpas produzidas a partir de fibras que apresentem paredes de maior espessura resultarão em um produto com maior número de fibras por grama e em papéis com maiores volumes específicos aparente (GOMIDE et al., 2005).

A análise da morfologia das fibras de *E. dunnii* no sentido medula-casca pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Média das dimensões das fibras de *E. dunnii* no sentido medula-casca. (A - Comprimento; B - Espessura de parede celular; C - Largura; D - Diâmetro do lúmen) por posição.



Observa-se de acordo com a figura 4, que as dimensões de comprimento de fibras e espessura de parede apresentaram tendência de aumento no sentido medula-casca, sendo que nestas, a posição 3 (100%), próxima a casca, apresentou dimensões em relação as demais posições.

Baldin et al. (2017) estudando a variação radial das dimensões das fibras de quatro espécies de *Eucalyptus*, observaram a mesma tendência de aumento no comprimento das fibras e espessura da parede. Essa tendência de variação para diferentes espécies de eucalipto também foi relatada por Tomazello Filho (1985). Este ainda afirma que conforme a árvore aumenta em idade, ocorre o aumento no comprimento das fibras, resultado do acréscimo do comprimento das células que as originam, que são denominadas de fusiformes iniciais. A estabilização desta variação apenas irá ocorrer quando as células do cambium atingirem comprimento máximo, quando iniciar a formação do lenho adulto.

Para espessura de parede observa-se que embora os valores encontrados nas posições 1 e 2 sejam estatisticamente semelhante, nota-se que há um aumento gradual no sentido medula-casca. Ao se tratar de outras espécies de *Eucalyptus*, nota-se que não há um padrão estabelecido para a espessura das fibras, visto que alguns autores relatam ligeiro aumento no sentido radial, enquanto que outras verificaram decréscimo radial.

Em relação a largura das fibras, embora os valores não tenham diferido estatisticamente, observa-se tendência no aumento na posição 1 para posição 2, sequencialmente, uma pequena redução dos valores na posição 3. A mesma tendência foi observada no estudo realizado por Baldin et al. (2017) e por Pirralho et al. (2014), avaliando *Eucalyptus camaldulensis*, *E. maculata*, *E. melliodora* e *E. sideroxylon*.

Para o diâmetro do lúmen, as posições 1 e 2 apresentaram-se iguais estatisticamente, porém diferiram da posição 3, demonstrando tendência no decréscimo desta dimensão no sentido medula-casca. Brasil e Ferreira (1972), estudando *E. grandis* acreditam que a diminuição do diâmetro do lúmen no sentido medula-casca pode se ocasionada pela variação da espessura de parede. Observou-se que a espessura da parede celular aumentou na direção medula-casca, o que pode estar relacionado ao aumento da idade, o que leva consequentemente a redução do diâmetro do lúmen.

4.2.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

Na tabela 4 podem ser visualizados os valores médios dos parâmetros avaliados para a madeira de *E. dunnii* em comparação com outras espécies de *Eucalyptus*.

Tabela 4 - Comparação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica das fibras de *E. dunnii* com outras espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Idade	IR	FP (%)	CF (%)	IF
<i>Eucalyptus dunnii</i> ¹	7	0,79	41,81	58,18	57,09
<i>Eucalyptus dunnii</i> ²	5	1,07	51,53	50,00	58,96
<i>Eucalyptus saligna</i> ³	5	0,55	36,79	66,52	54,01
<i>Eucalyptus urograndis</i> ⁴	8	1,47	59,64	40,35	-

IR – Índice de Runkel; FP – Fração Parede; CF – Coeficiente de Flexibilidade; IF – Índice de Enfeltramento.

Fonte: ¹Presente estudo; ²Baldin et al. (2017); ³Foelkel; Barrichelo (1975); ⁴González et al. (2014).

Em comparação com as demais espécies apresentadas na tabela 4, nota-se que para os parâmetros: índice de Runkel, fração parede e índice de enfeltramento, os valores encontrados no presente estudo foram superiores aos registrados por Foelkel e Barrichelo (1975) e Silva (2002) para outras espécies de *Eucalyptus*. De acordo com a classificação proposta por Runkel (1952) *apud* Rocha e Potiguara (2007), as fibras da madeira de *E. dunnii* avaliada no presente estudo, enquadram-se no grupo III, com intervalo de 0,50 a 1,00, sendo consideradas boas para a produção de papel. O índice de Runkel estabelece o grau de colapso entre fibras durante o

processo de produção de papel. Quanto menor o valor gerado para o índice, maior será o colapso entre as fibras, aumentando a superfície de contato, resultando em um papel mais resistente ao estouro e à tração. Valores altos para este índice caracterizam fibras mais rígidas e com dificuldade de união na folha de papel (FLORSHEIM *et al.*, 2009).

O valor encontrado por Baldin *et al.* (2017) para a madeira de *E. dunnii* gerou o valor de 1,07 para o índice de Runkel de 1,07, o qual pertence ao grupo IV, sendo suas fibras consideradas regulares para produção de papel. Os autores afirmam que o elevado valor observado para índice de Runkel pode ser justificado pela espessura da parede das fibras. González *et al.* (2014), avaliando discos da base da madeira de *E. urograndis*, obtiveram o valor de 1,47 para índice de Runkel, o qual caracteriza a fibra da espécie como regular para a produção de papel.

O valor médio obtido para fração parede da espécie *E. dunnii* e das espécies em comparação encontram-se dentro da faixa ideal para a produção de papel. Foelkel *et al.* (1978) recomendam a utilização de fibras com até 60% de fração parede. Porém, na prática, Foelkel e Barrichelo (1975) afirmam que fibras com fração parede superiores a 40% são no geral mais rígidas e de difícil colapso e resultam na produção de papeis com maior porosidade e rugosidade. Segundo González *et al.* (2014), quanto maior a porcentagem de parede, maior será a sua rigidez, afetando de maneira negativa a ligação entre as fibras influenciando na resistência do papel ao rasgo.

Em relação ao coeficiente de flexibilidade, observa-se que o presente estudo gerou valor intermediário (58,18%) para este parâmetro se comparado ao observado nos trabalhos listados na Tabela 4. Resultados de coeficiente de flexibilidade entre 50 a 75% caracterizam fibras como flexíveis, com boa superfície de contato e boa união fibra-fibra. Quanto maior o valor do coeficiente de flexibilidade, mais fácil será a ligação entre as fibras, conferindo assim maior resistência ao papel. No caso de valores baixos para este coeficiente, tem-se a redução na resistência do papel devido à baixa superfície de contato entre as fibras (FOELKEL; BARRICHELO, 1975; SAIKIA *et al.*, 1997).

Outro índice que possui relação com à flexibilidade da fibra é o índice de enfiamento. O valor encontrado para este foi de 57,09 sendo superior aos citados na tabela 4. Tanto este, como os demais valores citados, são considerados ideias para a produção de celulose de fibra curta. Maiores valores deste índice caracterizam fibras mais flexíveis.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente estudo para a madeira de *E. dunnii* conclui-se que:

- A densidade básica média foi de 0,511 g/cm³, estando este valor dentro dos valores requeridos para a produção de celulose fibra curta;
- As dimensões médias das fibras foram: 0,97 mm de comprimento; 17,00 µm de largura; 9,98 µm de diâmetro do lúmen e 3,51 µm de espessura de parede. Apenas as dimensões de comprimento de fibras e espessura de parede apresentaram tendência de aumento no sentido medula-casca. Em relação a largura das fibras, embora não haja diferença estatística entre as posições, tem-se próximo a casca fibras mais largas. Para o diâmetro do lúmen, observou-se tendência de decréscimo desta dimensão no sentido medula-casca;
- Os valores médios obtidos para parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica foram: 0,79 para índice de Runkel, 41,81% de fração parede, 58,18% de coeficiente de flexibilidade e 56,79 para o índice de enfiamento. Com base nos indicadores as fibras apresentam boa qualidade para produção de celulose e papel.

De maneira geral os resultados encontrados para a madeira de *E. dunnii* são satisfatórios, uma vez que os indicadores de qualidade caracterizam suas fibras como de bom potencial para produção de celulose fibra curta e para a produção de papéis que não necessitem alta resistência mecânica como é o caso dos papéis de escrita e de impressão.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941-02 - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'her. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v.8, n.2: p.144-126, 2017).
- BARRICHELLO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. Brasília PNUD/FAO/IBDF/BRA, 1976, 145p.
- BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, Piracicaba, n.5, p.81-90, 1972.
- DINUS, R. J.; WELT, T. Tailoring fiber properties to paper manufacture: recent developments. **Tappi Journal**, Peachtree Corners, v. 80, n. 4, p. 127-139, 1997.
- DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature. **Tappi Journal**, Peachtree Corners, v.48, n.8, p.440- 447, Ago, 1965.
- DOBNER JR., M; BATISTA, K. M.; SARTORIO, I. P.; ARCE, J. E.; QUADROS, D.S. Crescimento e desempenho econômico de *Eucalyptus dunnii* em diferentes sítios no planalto sul do Brasil. **Floresta (UFPR IMPRESSO)**, v. 47, p. 397- 406, 2017.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Embrapa, Curitiba, 1988, 113p.
- EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake clones. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft**. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- FERREIRA, M. Escolha de espécie de Eucalipto. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, v.47, p.1-30, 1979.
- FERREIRA, G.W., GONZAGA, J.V., FOELKEL, T.F.A., RATNIEKS, E., SILVA, M. C.M. Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em ralação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p.41-63, 1997.

FLORSHEIM, S.M.B., COUTO, H.T.Z., LIMA, I.L., LONGUI, E.L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista Instituto Florestal**. São Paulo, v.2, n.1, p.79-91, 2009.

FOELKEL, C. E. B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J.; MEDEIROS, S. J. Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **Cenibra**, Belo Oriente, Cenibra, n. 68, 31 p, 1978.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, p. 35-40, maio, 1992.

FOELKEL, C. E.; BARRICHELO, L. E. G. Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa bracatinga*), embaúba (*Cecropiasp.*), caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*). **IPEF**, n.10, p. 43-56, 1975.

FOELKEL, C. E. B. **Estrutura da madeira**. 1977. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos>>. Acesso em: 04/08/2018.

FOELKEL, C. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel**. In: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 48 p, 2007.

FOELKEL, C.E.B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento. In: FOELKEL, C.E.B. **Eucalyptus online book & newsletter**. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2009.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBA 2017, ano base 2016**. São Paulo: IBÁ, 2017, 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>>, acesso em 08 de out. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Sumário Executivo 2018**. São Paulo: IBÁ, 2018. 6 p. Disponível em: < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>, acesso em 08 de out. 2018.

IAWA COMMITTEE. 1989. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10:220-332.

JARDIM, J.M.; GOMES, F.J.G.; COLODETTE, J.L.; BRAHIM, B.P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, vol. 78, n.11, p. 122-129, 2017.

MANHÃES, G. F. Elasticidade de substituição: contribuição à análise de competitividade da indústria brasileira de celulose. 2011. 145 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química, São Paulo, 2011.

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 Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MONTEIRO, R. F. R. Comportamento ao frio de espécies/procedências de *Eucalyptus* na Klabin do Paraná, localizada em Telêmaco Borba. **O Papel**, São Paulo, v. 51, p. 53-65, 1990.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G.I.B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J.L.M.; VENSON, I. 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.

PAIVA, H.N.; JACOVINE, L.A.G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G.T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo.** Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011, 354p.

PIRRALHO, M.; FLORES, D.; SOUSA, V. B.; QUILHÓ, T.; KNAPIC, S.; PEREIRA, H. Evaluation on paper making potential of nine Eucalyptus species based on wood anatomical features. **Industrial Crops and Products**, v. 54, p. 327–334, 2014.

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

RAMOS, M.G.; SERPA, P.N.; SANTOS, C.B. dos; FARIAS, J.C. **Manual de silvicultura: I – Cultivo e manejo de florestas plantadas.** Florianópolis: Epagri, 2006, 55p.

ROCHA, C. B. R.; POTIGUARA R. C. V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (ARECACEAE). **Acta Amaz**, 2007, v.37, n.4, p.511-516.

RUNKEL, R.O.H. 1952. **Pulp from tropical wood.** TAAP, 35 (4): 174-178.

SAIKIA, S. N.; GOSWAMI, T.; ALI, F. Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast growing plants. **Wood Science and Technology**, v. 31, p. 467–475, 1997. DOI:10.1007/BF00702569

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

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

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Celulose: área celulose e papel**. São Paulo: SENAI-SP, 2013, 352 p.

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

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 16f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.

SILVA, J.C.; FILHO, M.T.; OLIVEIRA, J.T.S.; CASTRO, V.R. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 31, n.6, p. 1081-1090, dez, 2007.

SOUZA, V.R., CARPIM, M.A., BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.65-72, 1986.

SOUZA, F. M. L de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais**. 2012. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba, v.30, 1985, p.45-54.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B.Da. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDS Setorial**: Rio de Janeiro, n. 39, mar. 2014, p. 281-342.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: it's causes and control**. Berlin: Springer Verlag, 1989, 363 p.

APÊNDICE A – Análise de Variância

Tabela 5 - Resultados da Análise de Variância (ANOVA) obtidos para a morfologia das fibras.

Dimensões		S.Q	G.L	Q.M	F	Sig.
Comprimento	Entre Grupos	1,145	2	0,573	25,159	,000
	Dentro do Grupo	7,100	312	0,023		
	Total	8,245	314			
Largura	Entre Grupos	3,139	2	1,569	0,152	859
	Dentro do Grupo	3212,973	312	10,298		
	Total	3216,112	314			
Diâmetro do lúmen	Entre Grupos	159,916	2	79,958	9,685	,000
	Dentro do Grupo	2575,789	312	8,256		
	Total	2735,704	314			
Espessura da parede	Entre Grupos	33,453	2	16,727	21,349	,000
	Dentro do Grupo	244,451	312	0,783		
	Total	277,904	314			
Fração parede	Entre Grupos	5372,536	2	2686,268	28,541	,000
	Dentro do Grupo	29364,906	312	94,118		
	Total	34737,443	314			
Coeficiente de flexibilidade	Entre Grupos	5372,536	2	2686,268	28,541	,000
	Dentro do Grupo	29364,906	312	94,118		
	Total	34737,443	314			
Índice de Runkel	Entre Grupos	6,636	2	3,318	26,010	,000
	Dentro do Grupo	39,798	312	0,128		
	Total	46,433	314			
Índice de Enfeltramento	Entre Grupos	121,431	2	60,715	3,728	0,089
	Dentro do Grupo	97,724	6	16,287		
	Total	219,155	8			