

Avaliação da aptidão morfológica das fibras de 5 espécies do género Eucalyptus na produção de polpa para papel



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Mestrado em Tecnologia e Utilização da Madeira

**Avaliação da aptidão morfológica das fibras de cinco espécies do género *Eucalyptus* na
produção de polpa para papel**

Autor: Pedro Venâncio Wate

Supervisor: Prof. Doutor Ernesto Uetimane Jr.

Maputo, Outubro de 2018



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Mestrado em Tecnologia e Utilização da Madeira

Autor: Pedro Venâncio Wate

Supervisor: Prof. Doutor Ernesto Uetimane Jr

Maputo, Outubro de 2018

Declaração

Declaro por minha honra que esta dissertação com o tema **Avaliação da aptidão morfológicas das fibras de espécies do género *Eucalyptus* na produção de polpa para papel** nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu labor individual com ajuda do meu Supervisor Prof. Doutor Ernesto Uetimane Jr. Esta dissertação é apresentada a Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal na Universidade Eduardo Mondlane em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia e Utilização da Madeira, da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo aos ____ de _____ de 2018

Dedicatório

À minha mãe Lúcia Benjamin Matingane pelo sacrifício dedicação, confiança e ensinamentos, para a minha formação, e memória do meu pai Venâncio Zucas Wate.

A minha filha Luciandra Pedro Wate com todo amor e carinho. Dedico também a minha amada avó, Neli Josua Matingane in memor, aos meus tios José Benjamin Matingane, Josua Benjamin Matingane, Luiz Zucas Wate, ao meu tio in memore Florêncio Zucas Wate, Silva Benjamin Matingane, minha tia Flora Benjamin Matingane aos meus irmãos, Feliz, Benjamin, Josué, Afonso, Elisa, aos meus primos Joel Viriato Maule, Mateus José Matingane, Benjamin José Matingane, Nelita Viriato Maule, Gito Silva Matingane, Silva e outros, pelo apoio.

Agradecimentos

A Deus, que sempre me guiou e me deu força para continuar.

Aos meus pais, Venâncio Zucas Wate e Lúcia Benjamin Matingane, e irmãos, pelo apoio especialmente ao Josué Venâncio Wate.

Ao meu Supervisor, Professor Doutor Ernesto Uetimane Júnior, por transpassar a função de Supervisor. Obrigado Professor pela paciência, compreensão e ensinamentos. Aos meus Professores: Professor Doutor Andrade Fernando Egas, Professor Doutor Almeida Sitoé, Professor Doutor Mário Paulo Falcão, Professor Doutor Carlos Alberto Cuvilas, Professor Doutor Inácio Lhate, Professor Doutor Luís Cristóvão, Professora Doutora Alice Wang, Professora Doutora Margot Sehlstedt Persson, Professor Doutor Nasko Terziev, Professora Doutora Rosta Mate, Engenheiro Narciso Bila, Engenheiro Alberto Manhiça, pelo apoio durante a minha formação.

Quero agradecer ainda ao Engenheiro Sá Nogueira Lisboa pelas ricas sugestões e correções feitas durante o decurso do trabalho, aos técnicos do campo dr. Paulo Valeriano Timóteo – Técnico de Laboratório de Tecnologia de Madeira, Sr. João Paulino – Técnico de Exploração Florestal, ao Engenheiro José Machava Técnico do Laboratório de Solos, a Engenheira Néri Lazaro Félix Varela, Engenheira Indira Salgado, ao Engenheiro Dinis Kulei e Engenheiro Alberto Fernando Mussana por terem-me ajudado na produção de lâminas histológicas que sem eles não seria possível a realização desse trabalho, aos meus Colegas meus companheiros da carteira, Evaristo José Lumbela, Aurélio Salomão Duvane, Jamal Andinane Manga, Paulito António Clavete, Orcídio Manuel Chiboleca e Inayat Kan, pelo apoio durante a formação.

A toda comunidade estudantil, ao CTA e ao corpo de docentes que directa ou indirectamente estiveram comigo nesta longa caminhada.

À Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Florestal, e ao Curso de Mestrado e Tecnologia de Utilização da Madeira (FAEF-UEM-DEF-MTUM), pela possibilidade de realizar o curso.

Ao Instituto dos Recursos Naturais da Finlândia (LUKE) em colaboração com o Governo Finlandês, a Universidade de Ciências Agrárias da Suécia, Universidade Tecnologia de Lulea pelo financiamento.

Ao Instituto Superior Politécnico de Gaza por darem abertura para a minha formação.

Aos meus Colegas do Instituto Superior Politécnico de Gaza Doutor Mário Sebastião Tuzine, Doutor Luís Comissario Mondlane, Engenheiro Arménio Pinto Pedro Cangela, doutor Arão Feniassa Malate, Engenheira Juvência Yolanda Malate, Engenheiro Emídio Matusse, Engenheiro Severino José Macoo, Engenheiro Edson Chilaquene Massingue, doutor Sergia Alfredo Bila que sempre me apoiaram e me deram forças para continuar.

Índice	Página
Declaração.....	i
Dedicatório.....	ii
Agradecimentos	iii
LISTA DE GRÁFICOS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO	x
Lista de abreviaturas	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema e justificação de estudo	3
1.2. OBJECTIVOS.....	5
1.2.1. Geral:	5
1.2.2. Específico:	5
1.2.3. Hipótese:.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. História do surgimento do papel	6
2.2. Matérias-primas para a produção de polpa para papel	7
2.2.1. Matérias-primas não lenhosas	8
2.2.2. Matérias-primas lenhosas	8
2.2.3. Propriedades do papel e relação com as dimensões das fibras.....	9
2.3. Características anatómicas e seu efeito sobre as propriedades do papel.....	9
2.4. Índices indicativos de qualidade da madeira para papel	10
2.4.1. Índice de enfeltramento	10
2.4.2. Coeficiente de Flexibilidade	10
2.4.3. Fracção Parede.....	11
2.4.4. Índice de Runkel.....	11
2.5. Características químicas da madeira que influenciam as características da polpa/papel	15
2.6. Papel de Imprimir e Escrever	17
2.7. Sistema de Produção de Papel Kraft	18
3. METODOLOGIA.....	19

3.1. Descrição da área de estudo	19
3.2. Selecção de árvores e extracção de amostras	19
3.3. Material colhido	20
3.3.1. Tomada de amostras nas árvores abatidas	21
3.4. Análise laboratorial	21
3.4.1. Morfologia das fibras.....	21
3.5. Análise e processamento de dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Valores médios que caracterizam a morfologia das fibras	24
4.2. Variação axial.....	25
4.2.1. Comprimento das fibras.....	25
4.2.2. Diâmetro tangencial das fibras	26
4.2.3. Espessura da parede celular	26
4.2.4. Diâmetro tangencial de lúmen	27
4.3. Aptidão morfológica das fibras para polpagem com base nos índices e coeficientes biométricos	28
4.3.1. Índice de Runkel	29
4.3.2. Coeficiente de flexibilidade.....	31
4.3.3. Fracção parede	32
4.3.4. Índice de enfiamento	33
4.3.5. Coeficiente de Forma de Luce.....	34
4.4. Influência da idade nos indicadores de qualidade morfológica das fibras	36
5. CONCLUSÕES	37
5.1. RECOMENDAÇÕES	39
6. REFERENCIA BIBLIOGRAFIA.....	40
Anexo.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação axial média do índice de Runkel nas espécies estudadas	30
Gráfico 2: Variação axial média do coeficiente de flexibilidade nas espécies estudadas	32
Gráfico 3: Variação axial médio do índice de enfeltramento nas espécies estudadas	34
Gráfico 4: Variação axial médio do coeficiente de forma de Luce nas espécies estudadas	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comportamento biométrico das fibras segundo o coeficiente de flexibilidade.....	11
Tabela 2: Apresenta algumas características para os valores dos Índices de Runkel.....	12
Tabela 3: Espécies, idade e espaçamento do material colhido	20
Tabela 4: Valores médios das variáveis que caracterizam a morfologia das fibras.....	24
Tabela 5: Índices biométricos médios indicativos de aptidão das fibras para polpagem	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema básico do processo de produção do papel Kraft	18
Figura 2: Locais de colheita de amostras	19
Figura 3: Esquema de amostragem nas parcelas (100x100 m) dos povoamentos.....	20
Figura 4: Esquema do procedimento de colecta das amostras nas árvores abatidas.	21
Figura 5: Promenor da mensuração do diâmetro tangencial da fibra e do lúmen celular.....	22

RESUMO

Dada a importância e a crescente demanda do papel no mercado, tem-se intensificado esforços na busca de alternativas que visam testar diferentes fontes de matéria-prima para suprir as necessidades actuais do papel. Este trabalho tem como objectivo avaliar a aptidão morfológica das fibras de indivíduos clonados de 5 espécies do género *Eucalyptus* (*E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. grandis-camaldulensis*, *E. urophylla* e *E. urophylla-grandis*), com idades entre 5-9 anos na produção de polpa para papel de imprimir e escrever. Para o efeito, foram abatidas 5 árvores por espécie clonada. Em cada uma das árvores foram extraídos discos de 5 cm de espessura em posições axiais equidistantes a partir dos quais foram examinados os seguintes parâmetros morfológicos das fibras: comprimento das fibras, diâmetro tangencial do lúmen, e as espessuras da parede celular. Em seguida foram determinadas as relações entre as variáveis morfológicas que determinam a qualidade das fibras para polpagem, nomeadamente: índice de runkel, índice de enfletramento, fração parede, coeficiente de flexibilidade e factor de forma de Luce. Os resultados indicam que os clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* apresentaram fibras de melhor aptidão morfológica na parte superior do fuste (50% a 100%) em relação as posições anteriores (base e 25%). O diâmetro das fibras mostrou pouca variação entre as posições assim como valores menores do diâmetro tangencial do lúmen nas posições de 25% a 100% ao longo do fuste. Quanto a espessura da parede das fibras os valores menores foram registados na parte inicial do fuste até 25% da altura. As fibras de *E. urophylla*, *E. grancauldulensis* e *E. grandis*, apresentaram índice de runkel no intervalo de 0,50 a 1,00 considerada boa para a produção de polpa para papel em relação as fibras de *E. urograndis* com um índice de runkel no intervalo de 1.0 a 1.2 considerada regular. No geral, com base na maioria dos índices e coeficientes biométricos, o estudo conclui que as fibras de todas as espécies em estudo apresentaram uma aptidão morfológica considerada boa e ocasionalmente regular para a produção de polpa para papel. Excepto o índice de enfeltramento que indicou que todas as fibras das espécies clonadas em estudo não apresentaram um bom potencial para a polpagem.

Palavras-chaves: *Eucalyptus*, morfologia das fibras, qualidade, polpa, papel.

Lista de abreviaturas

IR – Índice de Runkel;

IE – Índice de Enfeltramento;

DL – Diâmetro do lúmen;

EP – Espessura da parede celular;

IRA – Índice de retenção de água;

FP – Fração parede;

DL – Diâmetro do lúmen;

DF – Diâmetro da fibra;

CF – Coeficiente de flexibilidade;

CFL – Coeficiente de forma Luce;

FAEF – Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal;

UEM – Universidade Eduardo Mondlane;

DEF – Departamento de Engenharia Florestal;

TUM – Tecnologia de Utilização da Madeira;

CENACARTA – Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção;

IAWA - List of microscopic features for hardwood identification

1. INTRODUÇÃO

Moçambique é um país com potencial para o desenvolvimento de plantações florestais quer em termos de disponibilidade de áreas como de clima para o efeito. Com a implementação da política do governo de promover plantações florestais com vista a reduzir a pressão sobre os recursos da floresta nativa e incentivar o desenvolvimento da indústria florestal, várias empresas tem estado a estabelecer plantações florestais nos últimos 10 anos, com destaque para as empresas Chikweti Forest, Green Resources, Florestas do Niassa e Portucel, com a finalidade de produzir diferentes produtos florestais principalmente postes, madeira serrada, biomassa para energia, astilhas para painéis e polpa para papel, entre outros (Nube, 2013). Para a produção de polpa para papel as empresas estão a apostar em plantações do género *Eucalyptus*, com destaque para o *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urograndis*.

No mundo todo, quase toda polpa produzida para a produção de papel se baseia no uso de madeiras de diferentes tipos de espécies de árvores como o eucalipto que é largamente usado pelos países europeus Inglaterra, França, Portugal, na região da África Austral, destaca-se África do Sul como o maior produtor de polpa para papel produzindo aproximadamente 1.9 milhões de toneladas de polpa de madeira, 1.2 milhões de toneladas de papel de impressão de jornal e papel de impressão e escrita, e mais de 1 milhões de toneladas/ano de outros produtos de polpa para papel (Foelkel, 2006).

Ao nível mundial, o ressurgimento de interesse pela celulose para a produção de polpa para papel veio ocorrer na década de 1970, com o renascimento da ideia do uso de recursos renováveis como forma suplementar ou substituir materiais derivados do petróleo. No limiar de um novo milénio, esta concepção ainda mantém-se viva, ganhando agora força adicional diante das exigências que a sociedade vem impondo para o uso de materiais cada vez menos impactante ao meio-ambiente, o que é bastante verdadeiro no caso do uso da madeira para a produção de polpa para papel (Valente *et. al.*, 1992).

O alto consumo de plástico e os seus métodos insustentáveis de produção endossam essa actividade humana numa das indústrias com impactos sócio ambientais mais nocivos ao planeta em relação a produção de papel. O governo de Moçambique lançou um desafio com vista a substituição de saco de plástico por sacos que sejam ambientalmente saudáveis (biodegradável)

de modo a reduzir os impactos negativos na saúde humana, infraestruturas, biodiversidade e no meio ambiente em geral. O uso do papel mostra-se ambientalmente viável, e é uma alternativa que se mostra sustentável a sua produção e comercialização, olhando para as condições agro-ecológicas climáticas do nosso país.

Este facto é decorrente das excelentes características edafoclimáticas existentes aqui em Moçambique. As florestas plantadas possuem importância ímpar no suprimento de matéria-prima para a sociedade. Várias são as funções das florestas plantadas, mas sem dúvida a principal é a produção de madeira e seus derivados. A madeira é um material extraordinário, pois apresenta várias propriedades que lhe confere extensas aplicações, dentre elas, a produção de papel.

Segundo Wallis, *at. al.*, (1996), as regiões para o crescimento de árvores para a produção de polpa requerem climas quentes tropicais e subtropicais. Os mesmos autores afirmam ainda que a escolha de espécie normalmente é baseada em factores de risco climáticos (por exemplo risco de seca), temperatura média anual, precipitação média anual, características do solo como as características das árvores a usar na produção da polpa.

Sugundo Valente *at. al.*, (1992), a variação das condições ecológicas de crescimento das árvores pode resultar em variações significativas nas características anatómicas da madeira podendo afectar a sua utilização. Foelkel (2007), afirma ainda que o comportamento do papel de uma polpa depende de vários factores, entre os quais as características anatómicas da madeira.

De acordo com Hughes (1973), a investigação anatómica permite determinar a relação entre as características estruturais da madeira e seu uso, incluindo as dimensões das fibras como importantes indicadores das propriedades de uma determinada espécie e sua adequação para o fabrico de um tipo específico de papel. As relações entre as dimensões das fibras são mais importantes do que os valores de suas dimensões isoladas, resultando em índices que ajudam na classificação da qualidade da madeira para celulose e papel. Dentre os principais índices estão os de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, fracção parede e de Runkel.

1.1. Problema e justificação de estudo

A utilização de matéria-prima de Eucaliptos deve aos grandes esforços e estudos da área de manejo, melhoramento e mais recentemente da tecnologia florestal. Dentre os usos desta matéria-prima destacam-se as aplicações na produção de papel de imprimir/escrever e tissue (papéis absorventes), que a cada ano tem aumentado seus consumos. A implantação da indústria de produção de polpa para papel vai ser de grande importância para a economia moçambicana, pois com ela, vai haver a geração de empregos diretos e indiretos, maior agregação de valor aos produtos florestais, aumento da arrecadação de tributos, pelo valor movimentado em exportações, entre outros.

O presente trabalho visa dar uma resposta parcial a crescente demanda por diferentes tipos da polpa celulósica para a indústria moçambicana, e pela necessidade de fazer uma análise comparativa da aptidão das fibras de espécies de generos *Eucalyptus* em diferentes condições de crescimento.

Nube, (2013), afirma que as espécies de género Eucaliptos pode se revelar de grande interesse para o sector florestal nacional uma vez que as condições edafo-climáticas favorecem o bom crescimento de espécies deste género. Dentre as muitas utilizações destas madeiras destacam-se postes, estacas, travessas, madeira serrada e celulose para papel.

Segundo Antunes (2004) na Península Ibérica e no Chile destaca-se o *Eucalyptus globulus*; estudos técnicos – mercadológico mostram que a polpa de *Eucalyptus globulus* apresenta característica distinta das de mais polpas de Eucalipto, sendo em algum caso considerada como um produto diferenciado. A madeira de *Eucalyptus globulus* apresenta menor teor de lignina quando comparada as madeiras utilizados, facilitando a deslignificação no processo de produção.

A opção pelo género *Eucalyptus* deu-se em função do mesmo ser o de mais ampla utilização em Moçambique em plantios florestais, havendo sobre o mesmo um grande interesse quanto à informações sobre usos de suas celulose para produção de polpa para papel. A escolha de espécies de genero *Eucalyptus* ocorreu, não somente em razão da disponibilidade de material com origens bem definidas e características de madeiras desejadas para estudo, mas também por

serem espécies consideradas como potenciais para plantios florestais visando produção de celulose para papel e de energia de biomassa.

No entanto é importante fazer uma análise do efeito da degradação das estruturas, no que concerne a perda do peso, mudança da qualidade de polpa, descoloração, perda da resistência das fibras acompanhados pela diminuição do volume das fibras, redução do valor, calor e conseqüentemente aumento da condução da corrente eléctrica. Estudo indica que a resistência e a perda do peso das fibras é considerado como um dos indicadores para a obtenção de matéria-prima de boa qualidade, com boas propriedades químicas, físicas mecânicas que não está infectado por agentes bio degradadores.

Assim, a utilização de parâmetros anatómicos como índices de qualidade na produção de papel é relevante do ponto de vista técnico e económico, uma vez que através da anatomia consegue-se quantificar e classificar os elementos anatómicos que serão utilizados no processo de polpação, além de fornecer conhecimento prévio do material a ser utilizado.

A crescente demanda por diferentes tipos da polpa celulósica para a indústria moçambicana, com maior qualidade com menor custo e também pelo facto de existirem poucos trabalhos relacionados com o tema e pela necessidade de fazer uma análise sobre as dimensões das fibras de clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urograndi*; e sua aptidão na produção de polpa para papel, com vista a obtenção de matérias-primas diferenciadas.

1.2. OBJECTIVOS

1.2.1. Geral:

- Avaliar a aptidão morfológica das fibras de espécies do género *Eucalyptus* na produção de polpa para papel através do índice de Runkel;

1.2.2. Específico:

- Avaliar o diâmetro tangencial das fibras de espécies clonadas do género *Eucalyptus*;
- Medir as variáveis morfológicas das fibras (o comprimento, diâmetro total, diâmetro tangencial do lúmen e espessura da parede celular);
- Determinar os indicadores de aptidão morfológica das fibras para a produção de polpa de papel com base nos índices biométricos (enfeltamento, runkel, coeficiente de flexibilidade, factor de forma de Luce);
- Seleccionar e comparar com base nos indicadores, as espécies com as fibras de melhor aptidão morfológica para a produção de polpa de papel de escrever e imprimir.

1.2.3. Hipótese:

Ho: As fibras de espécies clonadas do género *Eucalyptus* têm a mesma aptidão morfológica para produzir polpa de papel de escrever e imprimir;

Ha: Aptidão morfológica das fibras varia em função da espécie e posição axial da amostra;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História do surgimento do papel

Antes da criação do papel, o pergaminho, feito com peles de animais, foi o material mais utilizado para escrita. No ano de 105, na China, Ts’Ai Lun fabricou o papel, pela primeira vez, fragmentando, em um frasco com água, cascas de amoreira, pedaços de bambu, rami, redes de pescar, roupas usadas e cal para ajudar no desfibramento, e essa ideia continua válida até hoje. (Cherkassky, 1987). No século VIII (ano 751), os chineses, derrotados pelos árabes, foram obrigados a transmitir seus conhecimentos de fabricação de papel, proporcionando, então, a evolução da técnica em curto espaço de tempo. Alguns melhoramentos surgiram no século X: como o uso de moinhos de martelos movidos à força hidráulica e a cola animal para colagem (ABTCP, 2001).

A pasta de trapo foi o primeiro material usado para a fabricação do papel. Os trapos eram submetidos a um processo de maceração ou de fermentação. O processo durava, de 5 a 30 dias, utilizando-se recipientes de pedra, abrandando os trapos, em água. Para a obtenção de um bom papel, era imprescindível a fermentação dos trapos. Em virtude desse processo ser duro e penoso, a máquina Holandesa começou a ser usada no início do século XVII, para decompor as fibras dos trapos. Essa “máquina refinadora” fazia, em quatro ou cinco horas, a mesma quantidade de pasta que um antigo moinho de martelo, com cinco pedras gastava vinte e quatro horas (CELPA, 2001).

No ano de 1774, o químico alemão Scheele descobriu o efeito branqueador do cloro, conseguindo com isso, não só aumentar a brancura dos papéis, como também empregar, como matéria-prima, trapos mais grossos e coloridos. E em 1780, teve êxito a invenção, segundo a qual foi possível fabricar papel em máquina de folha contínua, seu autor foi o francês Nicolas Louis Robert.

Com a demanda do mercado, os papeleiros tiveram que dedicar suas atenções aos estudos de Jakob C. Schaeffer, um naturalista que pretendia fazer papel usando vários tipos de materiais, tais como: musgo, urtigas, pinho, tábuas de ripa, etc. Em 1884, Friedrich G. Keller, utilizando madeira pelo processo de desfibramento, fabrica pasta de fibras, mas ainda junta trapos à mistura. Mais tarde, percebeu que a pasta obtida era formada por fibras de celulose impregnadas por outras substâncias da madeira, como a lignina (PULP and PAPER INTERNATIONAL, 1987).

A maioria das espécies de Eucaliptos é originária da Austrália e da Tasmânia (Boland *et. al.*, 1992), (M. Pirralho *et. al.*, 2014), mais algumas espécies foram introduzidas em outras regiões em forma de plantações nas zonas temperadas, sub tropicais. Este é o caso de *Eucalyptus globulus* em Portugal e Espanha, *Eucalyptus nitens* em Portugal, Espanha, Argentina e Chile, *Eucalyptus grandis* nas zonas sub trópicos e nas zonas tropicais da Argentina, China, Brazil, Índia, África do Sul, Urugua y e Vietiname (Forrester *et. al.*, 2010; Pereira *et. al.*, 2011). De fato o Eucalyptus é uma das espécies mais valiosa e uma das folhosas largamente plantadas no mundo, com 18 milhões de hectares em 90 países, nas regiões tropicais e subtropicais da África, América do Sul, Ásia e Austrália, e também nas zonas temperadas da Europa, América do sul, América do norte e Austrália (Rockwood *et. al.*, 2008).

Sugundo (Carrillo *et. al.*, 2017), a madeira de Eucalipto tem sido largamente usada como a matéria-prima na produção de celulose e papel, um dos géneros largamente usada *Eucalyptus L'* Hér., obtida em florestas de curta rotação, produtoras de madeira com alto rendimento em celulose de fibras curtas e excelentes propriedades anatômica, químicas e físicas.

Papel é uma substância flexível, feita em folhas, de polpa de celulose, extraída principalmente da madeira, bagaços de cana e outras matérias fibrosas, usada na escrita, imprensa e embalagens.

2.2. Matérias-primas para a produção de polpa para papel

As madeiras usualmente utilizadas na fabricação de celulose são de coníferas e de folhosas. A madeira de conífera é uma madeira macia, e por isso também chamada de “softwood”. Sua fibra é longa, medindo de 3 a 6 mm de comprimento, dando mais resistência mecânica à folha. As madeiras de folhosas (árvores que perdem as folhas) são mais duras e por isso também chamadas de “hardwood”. Sua fibra é curta, medindo em média 1 mm de comprimento. É considerada um vegetal mais evoluído, crescendo mais rápido e de maneira mais eficiente. O eucalipto, a madeira mais utilizada para produção de celulose, está entre as folhosas, e o tempo de corte é de 6 a 8 anos, enquanto que o das coníferas é de 40 a 50 anos (Colodette *at. al.*, 2002 , Grande, 2004).

As fibras podem ser provenientes de várias fontes fibrosas (vegetais, animais e minerais), sendo as fibras dos vegetais mais comuns nos processos industriais para a produção de papel, por ser

uma fonte renovável e fácil de conseguir em maiores quantidades. A escolha da espécie é definida de acordo com o uso final da fibra, para o tipo desejado de papel.

2.2.1. Matérias-primas não lenhosas

Dentre as fontes de fibras de vegetais não lenhosos podem citar as provenientes de frutos, cascas, folhas e caules. A título de exemplo, pode-se citar algumas descritas por Andrade (2009): folha de bananeira (*Musa spp*) e Agave – usada no fabrico de cordas, barbantes grossos, redes de dormir, tapetes, entre outros; Caróá – fibra usada na fabricação de capachos, bolsas etc; Rami ou Ramie (*Boehmeria nivea* e *Boehmeria tenacissima*), Linho (*Linum usitatissimum*). Juta – fibra usada na confecção de sacos de aniagem, utilizados no acondicionamento de cereais, café e batata.

Wastowski (2009), ainda cita algumas plantas anuais e resíduos agrícolas, como babaçu, bagaço de cana-de-açúcar, linter de algodão, estopa de linho e sisal. De acordo com o autor, o bagaço de cana é uma fonte de fibra abundante e de fácil acesso em muitos países, sendo considerada uma fonte de fibra promissora para a indústria papelreira. O linter de algodão é relatado por Wastowski (2009), como fibras extra-longas e extra-largas, que são próprias para papéis especiais (papel moeda, filtros, etc.). Entretanto, esta fonte de fibra já possui uma utilização mais nobre, sendo usada na indústria do vestuário, não podendo ser usada no sector celulósico-papeleiro.

2.2.2. Matérias-primas lenhosas

A madeira é a matéria-prima mais usada no processo de polpação para fabricação de papéis, uma vez que atende a várias exigências do processo industrial, como ter uma produção sazonal, colheita e transporte sem impedimentos, possibilidade de ser armazenada por longos períodos e ainda grande homogeneidade, graças aos avanços tecnológicos do melhoramento florestal.

Segundo Noah *et. al.*, (2015), afirma que actualmente a produção de polpa para papel usa-se vários tipos de fibras, incluindo as naturais e as sintéticas. Todavia, a vasta maioria dessas fibras é obtida naturalmente em plantas. O mesmo autor afirma ainda que de acordo com TAPPI, mais de 90% de todo papel produzido é proveniente da madeira, devidos as suas propriedades, sua

disponibilidade e abundancia, facilidade de polpagem e é um recurso renoval e sustentável. As características das fibras da madeira difinem as dimensões e pode-se prognosticar os efeitos e qualidade da polpa produzida por essas fibras. No geral são produzidos dois tipos de celulose a partir da madeira: celulose de fibra curta e celulose de fibra longa, em sua maioria dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, respetivamente.

2.2.3. Propriedades do papel e relação com as dimensões das fibras

A madeira de eucalipto é formada em sua maior parte por uma massa de fibras, sendo sua morfologia e disposição muito importantes para as características finais do papel. (Barrichelo e Brito 1976, Santo 2010), afirmam que a madeira de eucalipto possui uma composição fibrosa variando em 65%. De acordo com Santos (2005), propriedades do papel como resistência ao rasgo e resistência a dobras são afectados pelo comprimento da fibra. Sendo papéis feitos de fibras de eucaliptos com valores inferiores nestas propriedades. Entretanto, esta fibra proporciona uma melhor formação da folha e lisura em sua superfície.

2.3. Características anatómicas e seu efeito sobre as propriedades do papel

Para o fabrico de papel são preferidas matérias-primas em que a maior parte de sua constituição seja fibrosa. Quando este facto não ocorre, torna-se indesejável para tal finalidade. Foelkel (1978), descreve madeiras com grandes proporções de células parenquimáticas como indesejáveis para a produção de papel.

De acordo com o mesmo autor, as principais variáveis que afetam o processo de polpação estão relacionadas com as características das estilhas de madeira (espécie, qualidade, humidade, densidade), do licor de cozimento (concentração de álcali activo), do controle da polpação (relação licor: madeira, temperatura, pressão, curva tempo/temperatura (factor H)), além de outros parâmetros como grau de deslignificação desejado (indicado pelo número kappa) e álcali residual. De maneira geral, as empresas buscam uma variação mínima no processo e na qualidade da polpa, controlando rigorosamente as variáveis de polpação. Desta maneira, consegue-se um produto uniforme, com qualidade compatível com as especificações finais, delimitadas pelos testes de resistência do papel.

2.4. Índices indicativos de qualidade da madeira para papel

Gomide *et. al.*, (2005), em seus estudos acerca da caracterização de clones de eucalipto para a produção de celulose, afirmam que “o conhecimento das características anatómicas dos elementos fibrosos das polpas permite que sejam previstas indicações das propriedades de seus papéis”. Segundo estes autores, a qualidade do papel é influenciada pelas características morfológicas das fibras e pela quantidade destas por unidade de massa.

Dentre os elementos anatómicos que vêm sendo estudados, a fibra é o que apresenta maior correlação com as propriedades do papel. O comprimento das fibras é uma característica importante, por estar relacionado com muitas propriedades da madeira (Florcheim, 1992, e Madeira Total, 2009), sendo ainda comumente utilizada como índice de qualidade. O cálculo das relações entre as dimensões obtidas em análise microscópica (comprimento, diâmetro externo, do lúmen e espessura de parede), pode-se estabelecer o comportamento e a capacidade papeleira de uma determinada fibra (Baldi, 2001 e Nisgoski, 2005).

2.4.1. Índice de enfiamento

É dado pela relação entre o comprimento (C) e a largura da fibra (L), ou seja, $IE=C/L$. Este índice indica o quanto a fibra é afilada. Para o eucalipto o índice de enfiamento (IE) varia de 40 a 50 (Foelkel, 1978). Quanto maior este valor, melhor a formação da folha, pois esta relacionada com a resistência ao rasgo e dobras duplas (Baldi, 2001 e Nisgoski, 2005).

2.4.2. Coeficiente de Flexibilidade

É dado pela relação entre diâmetro do lume (DL) e a largura da fibra (L): $CF=DL/L \times 100$. Segundo Foelkel (1978), este índice indica a capacidade da fibra em fazer ligações entre elas. O mesmo autor relata ainda que quanto maior for este índice, maior a possibilidade de colapso no processo de refinação, gerando uma maior ligação entre as fibras, aumentando as resistências ao estouro e tracção. Entretanto, ocorre a diminuição da resistência ao rasgo e opacidade.

Crítérios desenvolvidos para a classificação desse coeficiente são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Comportamento biométrico das fibras segundo o coeficiente de flexibilidade

Características das Fibras			
Coeficiente de Flexibilidade	Colapso	Superfície de contacto	União Fibra -Fibra
>75	Sim	Boa	Boa
75 – 50	Parcial	Boa	Boa
50 – 30	Pouco	Pouca	Pouca
< 30	Não	Muito Pouca	Fraca

Fonte: Ista *at. al.*; Blanco Rojas, adaptado por Nisgoski, (2005).

2.4.3. Fracção Parede

A fracção parede é expressa pela seguinte relação: $FP = 2 \times E / C \times 100$, onde E refere-se a espessura da parede e C o comprimento da fibra. De acordo com Foelkel (1978), este índice de qualidade associa a facilidade de colapso e flexibilidade para ligação das fibras. Para este mesmo autor, fibras com fracção parede acima de 60% são classificadas como muito rígidas, o que acaba prejudicando a inter-relação das fibras. Foelkel e Barrichelo (1975), consideram que valores de fracção parede acima de 40% para certo material fibroso, não é apropriado para a produção de celulose, pois algumas propriedades, como resistência a tracção e ao arrebentamento são prejudicados pela dificuldade de ligações entre as fibras.

2.4.4. Índice de Runkel

É dado pela expressão: $IR = 2E / DL$, onde E representa a espessura da parede da fibra e DL o diâmetro do lúmen. Os valores do índice de Runkel podem indicar o quanto a fibra é flexível, fornecendo uma ideia da capacidade das fibras se unirem, havendo uma relação nas propriedades de resistência ao arrebentamento e tracção das folhas de papel (Baldi, 2001 e Nisgoski, 2005).

Foelkel (1978), sugere que para valores maiores que 1.5, é desaconselhável para a produção de papel, uma vez que a fibra se apresenta muito rígida, diminuindo sua capacidade de interligação. A Tabela 2 apresenta algumas característizações das fibras a partir das classes dos valores dos Índices de Runkel.

Tabela 2: Apresenta algumas características para os valores dos Índices de Runkel

Índice de Runkel	Grupo	Características das Fibras
$\leq 0,25$	I	A fibra é muito flexível, macia, apresentando a capacidade de acomodar-se facilmente. Tal facto representa a condição óptima para a fabricação de papel. O valor da relação indica que o lúmen é muito grande em relação à espessura da parede.
$0,25 - 0,50$	II	A fibra é menos flexível do que no caso anterior, também fornece bons resultados na fabricação de papel. O valor da relação indica que a igualdade entre o diâmetro da fibra e espessura da parede é aumentada, diminuindo em consequência o diâmetro do lúmen.
$0,50 - 1,00$	III	A fibra começa a ser menos flexível e macia do que anteriormente, apresentando características mecânicas modestas. O valor da relação indica que sendo aumentada a espessura da parede celular em relação ao caso anterior, diminuindo a secção do lúmen.
>1	IV	O valor da relação indica claramente que o diâmetro do lúmen diminui fortemente, enquanto as paredes se tornam espessas, portanto as fibras são rígidas e tem baixa capacidade para o fabrico de papel.

Tabela 2: Fonte: Caumo (2003), adaptado do Nisgoski (2005).

Segundo Foelkel (2007), o comportamento do papel de uma polpa depende muito das propriedades anatómicas e químicas dessa mistura, mas também dos diferentes processos de produção de papel e de celulose empregados. A morfologia das fibras e seus constituintes químicos são muito importantes para se permitir previsões acerca do comportamento da polpa em condições operacionais de processo. As fibras se constituem no elemento anatómico mais abundante. Dentre suas dimensões fundamentais, a largura e o comprimento das mesmas são relativamente similares para as polpas de eucaliptos. A espessura da parede porém varia bastante e é ela uma das mais importantes de suas propriedades. Conforme variam as dimensões das fibras e a sua morfologia, existem importantes características nos processos de fabricação do

papel que também são afetadas. A população fibrosa e a “coarseness” das fibras podem, até certo ponto, refletir bastante nesse comportamento potencial das polpas e na sua performance em termos de qualidade de papel. Existem, entretanto, outros aspetos a serem considerados. Os finos e as deformações das fibras são outros pontos relevantes para o desempenho de uma polpa de eucalipto.

Os finos são muito importantes para a ligação entre fibras. Uma polpa sem finos tem pobre habilidade para ligações e baixas resistências físico mecânicas. Entretanto, um excesso de finos traz problemas na drenagem na secção húmida da máquina de papel, no desaguamento na prensagem a húmido, e colabora para uma alta densidade na folha de papel final. As deformações nas fibras não são naturais: o processo de produção de celulose e papel é que causam essas deformações na sua forma. As deformações das fibras reduzem a resistência das fibras individuais e por extensão a resistência da polpa e do papel. Por outro lado, elas são importantes para desenvolverem o volume específico aparente, a porosidade e a capacidade de absorção do papel. A integridade da parede celular e a organização ou desorganização das suas microfibrilas consistem em outro aspecto raramente considerado. A produção da celulose está acostumado a mudar suas condições de processo de digestão e branqueamento na busca de optimizações. O processo geralmente não tem nenhuma indicação acerca de efeitos desastrosos que ele possa estar trazendo à parede celular das fibras, excepto as medições de viscosidade da polpa. Viscosidade é uma propriedade muito simples para realmente mostrar os danos físicos e químicos que a parede celular da fibra possa estar sofrendo. As características químicas das polpas são também muito importantes (Foelkel, 2007).

A estrutura anatómica da madeira influencia suas propriedades e para se obter conhecimento destas propriedades e do seu comportamento, é necessário o estudo da anatomia da madeira e de suas variações. As fibras constituem o tecido básico de sustentação mecânica da madeira de folhosas, sendo dos tipos fibras libriformes e fibrotraqueóides (Miranda, 2012).

As madeiras de folhosas, comparadas às de coníferas, apresentam uma estrutura anatómica mais complexa, com maior número de elementos celulares, de tipos e formas variadas e em diferentes arranjos. Sua composição celular, muito variável e heterogénea, constitui-se de 7 a 55% de

vasos; 26 a 56%; de fibras (libriformes - fibrotraqueóides); 5 a 25% de parênquima radial e de 0 a 23% de parênquima axial (Klock *et. al.*, 2005).

Segundo Hughes, (1973) e Castelo (2007), afirmam que o principal objetivo da investigação anatómica é verificar a relação entre as características estruturais da madeira e seu uso, citando o exemplo das dimensões das fibras como importantes indicadores das propriedades de uma determinada espécie e sua adequação para a fabricação de um tipo específico de papel.

Os parâmetros considerados nos estudos de fibras compreendem o comprimento, a largura, a espessura da parede e o diâmetro do lume (Castelo, 2007). Sabe-se que em folhosas as dimensões das fibras variam, em média, de 0,8 a 1,5 mm no comprimento, de 20 a 50 µm no diâmetro do lúmen e de 3 a 5 µm na espessura da parede.

As relações entre as dimensões das fibras são mais importantes do que os valores de suas dimensões isoladas, resultando em índices que ajudam na classificação da qualidade da madeira para celulose e papel. Dentre os principais índices estão os de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, fração parede e de Runkel.

O índice de Runkel e a fração parede são índices relacionados à rigidez da fibra (Castelo, 2007) e se relacionam diretamente com as propriedades da celulose e do papel, pois o grau de rigidez das fibras influencia nas propriedades mecânicas do papel (Foelkel; Barrichelo, 1975). O coeficiente de flexibilidade e o índice de enfiamento medem o quão flexível são as fibras e sua capacidade de entrelaçamento, sendo também importantes para fabricação de celulose e papel (Castelo, 2007).

O teor de hemicelulose é uma dessa característica que tem maior efeito. Além do teor de hemiceluloses, finos, população das fibras, “coarseness” e capacidade de ligação, existem outras importantes propriedades tais como: IRA – índice de retenção de água, colapsabilidade das fibras, flexibilidade da fibra húmida e resistência da folha húmida. A habilidade da fibra em absorver e reter água vem-se mostrando uma propriedade fundamental na avaliação de polpas. As propriedades associadas ao fenómeno da histerese são hoje muito críticas nas avaliações de

polpas pelo facto de interferirem na performance da máquina de papel (drenagem e desaguamento) e na qualidade do papel final produzido. A qualidade da celulose é, por essa razão, definida por um grupo de atributos que pode variar de acordo com a qualidade da madeira, com o processo de deslignificação e produção de celulose e com as operações particulares do processo de produção de papel. A qualidade da celulose é por essa razão muito dependente da cadeia produtiva que os produtores estão gerenciando. Por essa razão, qualidade de polpa é construída ao longo de toda essa cadeia de valor Foelkel, (2007).

2.5. Características químicas da madeira que influenciam as características da polpa/papel

Para a determinação da qualidade das madeiras de eucalipto, visando a produção de polpa e papel os parâmetros químicos como os teores de celulose, lignina, pentosanas e extractivos tem sido considerado os mais relevantes e normalmente são relacionados com os aspetos quantitativos de rendimento e consumo de produtos químicos durante os processos de deslignificação (Carvalho *et. al.*, 1998 e Wallis *et. al.*, 1996).

A polpação química é baseada no princípio de que a lignina pode ser degradada seletivamente usando químicos apropriados permitindo a separação das fibras sem destruir a celulose ou a forma das fibras (Bamber, 1985). Mesmo quando a composição química da madeira é conhecida, é difícil prever, com precisão, o seu comportamento durante a polpação uma vez que os componentes se encontram arrançados de forma complexa tornando o comportamento diferente de quando estão isolados. De qualquer forma, o conhecimento da composição química da madeira em seus componentes principais como celulose, lignina e extrativos é importante para interpretar o comportamento da madeira no processo de polpação, assim como para determinar a qualidade da polpa produzida. Segundo Valente *et. al.*, (1992), um baixo teor de lignina e um alto teor de carboidratos requererão condições menos severas de polpação e conduzirão a um alto rendimento gravimétrico. Cohen & Mackney, citados por Wallis *et. al.*, (1996), estabeleceram correlações significativas entre propriedades químicas da madeira e propriedades da polpa. Lignina e extractivos apresentaram correlação negativa com rendimento em polpação Kraft, enquanto para fracções de carboidratos, a α -celulose correlaciona-se positivamente com rendimento em polpa. A holocelulose (celulose mais hemiceluloses) geralmente correlaciona-se

fraca e positivamente com o rendimento em polpa. Os autores relataram que encontraram uma boa correlação entre rendimento e teor de celulose para *E. grandis*. Trabalhos mostraram que rendimento da polpa Kraft de folhosas correlacionam-se positivamente com o teor de celulose da madeira e mais fracamente com o teor de hemiceluloses. Para madeira de eucaliptus, o rendimento em polpa Kraft é, na maioria das vezes, fortemente correlacionado com o teor de celulose e fraca e negativamente com o teor de hemiceluloses (Wright & Wallis, 1998). A composição química da madeira desempenha um papel económico no processo de produção de polpa. Madeiras com maiores teores de lignina podem exigir um maior consumo de álcali durante a polpação, gerando, conseqüentemente, maiores teores de sólidos para queima na caldeira (Santos, 2000). Segundo Wagberg & Annergren (1997), mesmo a celulose sendo o componente da polpa que confere resistência às fibras, polpas com altos teores de celulose e baixos teores de hemiceluloses desenvolvem menores resistências quando são refinadas. Uma explicação para esse fato pode ser um aumento da despolimerização da celulose ou a uma quantidade mínima de hemiceluloses que proporcione uma distribuição adequada das tensões nas paredes das fibras (Wagberg & Annergren, 1997 e Spiegelberg, 1966). As principais hemiceluloses presentes nas madeiras de eucalipto é a xilana. As hemiceluloses são muito hidrofílicas e são as maiores responsáveis pela habilidade da fibra em absorver água, facilitando o inchamento das fibras, promovendo a lubrificação interna, aumentando a flexibilidade das fibras e a área de contacto entre as fibras proporcionando ligações interfibras mais fortes. Tais fatos implicam em fibras mais conformáveis com estruturas mais coesas e que demandam menor energia de refino para atingir as mesmas propriedades necessárias (Warberg & Annergren, 1997, Laine & Hynynen, 1997 e Barzyc *et. al.*, 1997). Entretanto, a maior retenção de água diminui a drenabilidade do papel o que pode comprometer o andamento das máquinas de papel, que normalmente já estão operando em suas máximas capacidades de drenagem. Dessa forma, uma correta refinação dependerá do balanço entre as forças mecânicas e o comportamento intrínseco das fibras (Ferreira *et. al.*, 1998). As hemiceluloses, além de afetarem o rendimento na produção de polpa, desempenham importante função no processamento e nas propriedades da polpa e também do papel (Almeida *et. al.*, 2000), pois podem afectar importantes interações químicas entre as fibras, a água e outros produtos químicos que são agregados para a formação do papel. Os extrativos presentes na madeira são normalmente removidos durante o processamento químico. Assim, altos teores de extrativos conduzem a baixos rendimentos em polpa. As

quantidades de extrativos que permanecem na polpa são muito pequenas e seus efeitos na qualidade da polpa são insignificantes. Entretanto, certos extrativos causam a redução da alvura de polpas branqueadas.

De acordo com Jordão & Mangolini (1998), os extrativos exercem efeito marcante sobre as propriedades de absorção da polpa, pois esses compostos podem formar um rearranjo estrutural na superfície da fibra à medida que o tempo de estocagem aumenta, podendo assim influenciar a taxa de absorção de água dos papéis para fins sanitários. Na indústria de celulose e papel, o “pitch” é definido por compostos orgânicos provenientes da resina da madeira, associados a materiais inorgânicos e fibras. Os problemas causados pelo “pitch” são indesejáveis, pois esta resina adere em filtros lavadores, tanques de armazenamento e linhas de transporte, além disso, pode diminuir a qualidade do produto final quando permanece na polpa.

2.6. Papel de Imprimir e Escrever

Os papéis de imprimir e escrever são destinados a atender os processos de impressão para reprodução de livros, cadernos, documentos, propagandas e desenho. Casals (s.d.) classifica as propriedades que estão relacionadas à impressão e escrita em três grupos:

1. Propriedades intrínsecas do papel: cor, brancura, alvura, brilho, opacidade, porosidade (permeância ao ar), lisura (aspereza), gramatura, peso específico aparente, dureza, compressibilidade, uniformidade de espessura, estabilidade dimensional, colagem e estrutura interna (formação);
2. Propriedades que influem diretamente na impressão: humidade absoluta e relativa, absorvência, acidez ou alcalinidade, direção de fibra (direccionalidade), limpeza superficial, planicidade, esquadro, resistência à formação de bolhas, resistência à tração, resistência a húmido, resistência ao rasgo e resistência ao arrancamento superficial;
3. Propriedades que influem no produto impresso: dobras duplas, resistência ao alongamento, resistência ao arrebentamento, resistência à abrasão, resistência ao deslizamento, rigidez à flexão, resistência à água, permeabilidade ao vapor de água, permeabilidade às graxas e resistência à luz e calor.

De acordo com Foelkel (2007), as principais propriedades requisitadas pelos papéis de impressão e escrita são: lisura, opacidade, formação (arranjo fibroso da folha de papel), volume específico (“bulk”), porosidade, impermeabilidade, resistência, estabilidade dimensional, dentre outras. Essas propriedades podem ser obtidas com numerosas fibras curtas e estreitas, com relativa rigidez e boa refinabilidade, capazes de se manter unidas sem colapsar, constituindo uma rede bem estruturada, com boa ligação entre fibras e baixo teor de elementos de vaso.

2.7. Sistema de Produção de Papel Kraft

Este tipo de papel tem algumas características (resistência mecânica, porosidade entre outras) que devem ser controladas em função de sua aplicação na indústria (embalagens, indústria gráfica etc.). Há uma série de tratamentos antes, durante e após sua fabricação, para se obter uma lâmina de alta qualidade.

Na Figura 1: pode-se observar um fluxograma básico de uma linha de papel Kraft em máquina dotada do sistema de rolo formador, onde ao se observar o desenho do sistema produtivo, nota-se que ele é dividido em dois estágios, ou seja, dois fluxos na mesma linha produtiva.

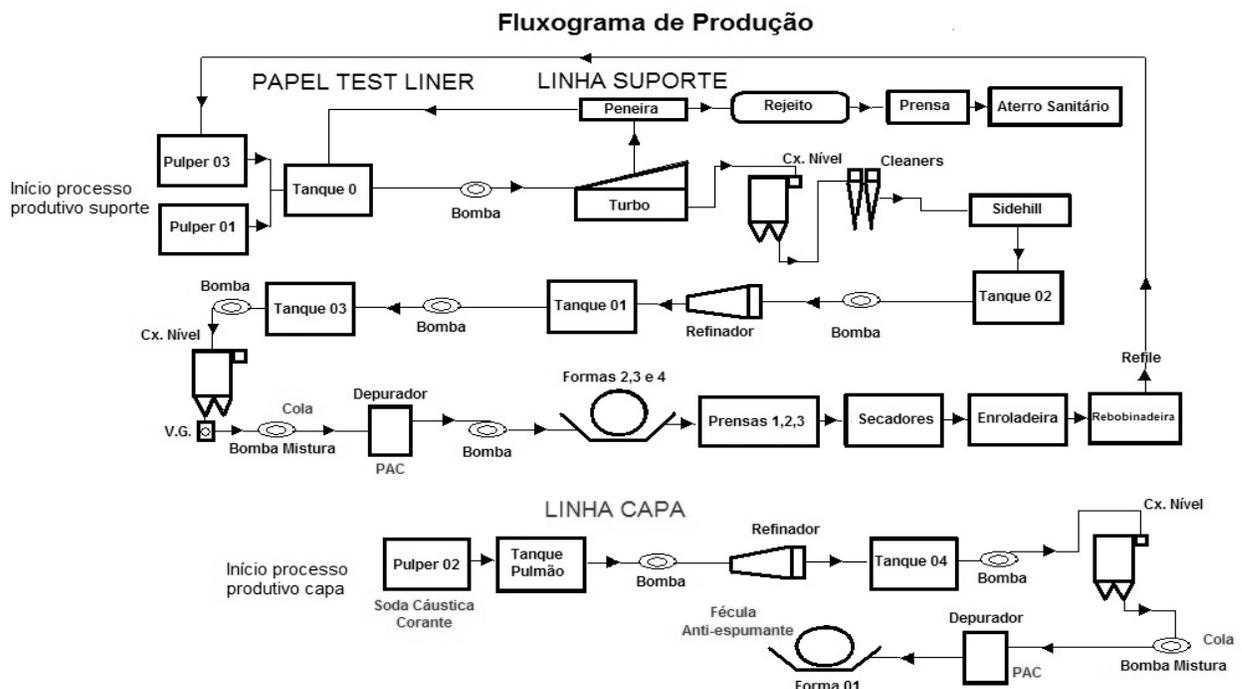


Figura 1: Sistema básico do processo de produção do papel Kraft Fonte: Sékula (2011)

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

O distrito de Manica localiza-se na parte central a Oeste da Província de Manica, com formato alongado e estreito, limitado a Norte pelo distrito de Bárue, a Sul pelo Distrito de Sussundenga, a Este pelo distrito de Gondola e a Oeste, em toda a sua extensão pela República de Zimbabwe, com um clima temperado húmido (Cw), precipitação média anual de 1000 á 1020 mm, observando-se a existência de duas estações bem distintas, a estação chuvosa em Novembro e a seca que inicia em Março, tendo uma temperatura média anual é de 21,2°C. O relevo é montanhoso (1500 – 2000 metros de altitude), os solos argilosos vermelhos óxicos ou castanhos avermelhados. A floresta natural predominante é do tipo miombo onde se destacam a Umbila, Panga-Panga, Paupreto, Muonha, Chanfuta, dentre outras, (MAE, 2014). A figura 2, representa a localização geográfica dos povoadamentos onde decorreu o abate de árvores.

Distrito de Manica

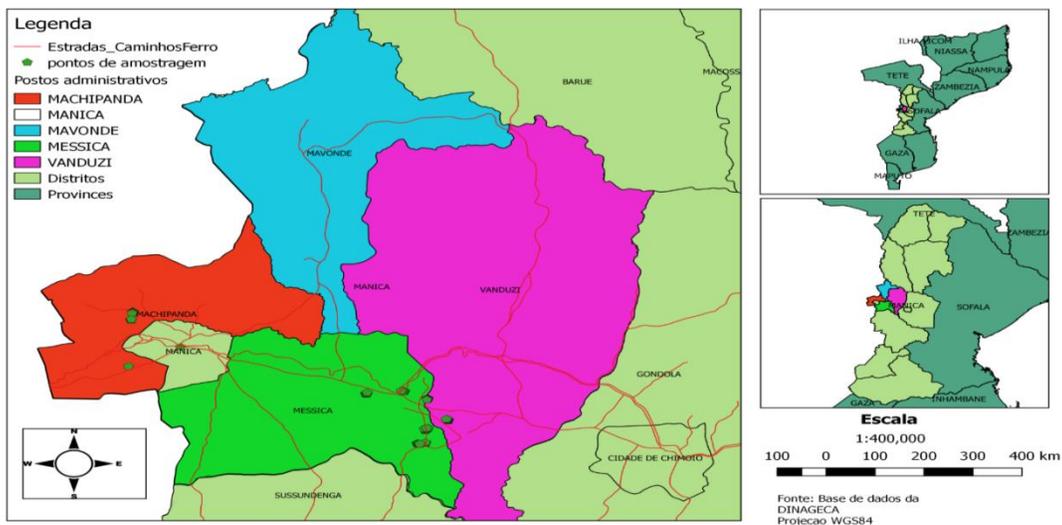


Figura 2: Locais de colheita de amostras

3.2. Selecção de árvores e extração de amostras

Foram estabelecidas cinco (5) parcelas circulares de 8 metros de raio dentro de cada povoamento. Em cada parcela e com recurso a uma suta mediou-se o diâmetro e a altura do peito (DAP) e estimou-se a altura das árvores e de seguida calculou-se a média ponderada e desvio padrão do diâmetro e seleccionou-se a árvore sã, sem a presença de nós, com boa qualidade de fuste, recto sem bifurcação e com o diâmetro próximo da média ponderada. A figura 4 representa

o esquema de selecção das parcelas que continham as árvores abatidas para a colheita de amostras.

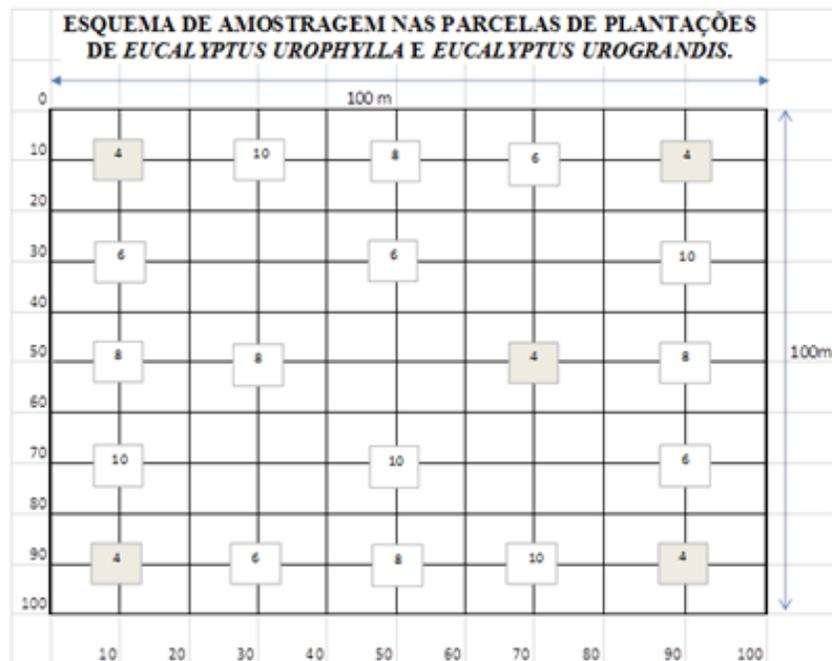


Figura 3: Esquema de amostragem nas parcelas (100x100 m) dos povoamentos

Legenda: 4 – Representa as cinco parcelas, onde foi abatido a árvore selecionada; 10 – São os pontos de virar para a outra parcela, que podia-se deslocar 20 ou 40 metros; 6 – Postos a ser considerado após 4 anos para outros estudos subsequentes; 8 – Postos a ser considerado após 8 anos para outros estudos subsequentes;

3.3. Material colhido:

Tabela 3: Espécies, idade e espaçamento do material colhido

Nome científico	Idade (anos)	Espaçamento (m)
<i>Eucalyptus grandis</i>	6.3	3x3
<i>Eucalyptus gracalmadulensis</i>	6.4	2x3
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	6.0	3x3
<i>Eucalyptus grandis</i>	7.2	3X3
<i>Eucalyptus grandis</i>	9.8	3X3
<i>Eucalyptus urograndis</i>	7.5	2x3
<i>Eucalyptus grandis</i>	9.0	3X3
<i>Eucalyptus urophyllas</i>	6.1	3x3
<i>Eucalyptus urophylla</i>	7.5	3X3

Fonte: Autor (2018)

3.3.1. Tomada de amostras nas árvores abatidas

Em cada árvore abatida, procedeu-se a remoção de cinco (5) discos com uma espessura de 5 cm da base ao topo relativo as alturas comerciais (0%, 25%, 50% 75% e 100%) para exame laboratorial da aptidão morfológica das fibras. No total foram extraídos 25 discos por cada talhão perfazendo 250 discos em 10 talhões. A figura 5 representa o esquema de retirada dos discos nas diferentes posições axial das árvores. Os discos foram devidamente codificadas e armazenadas em sacos bem arejados antes do processamento no laboratório.

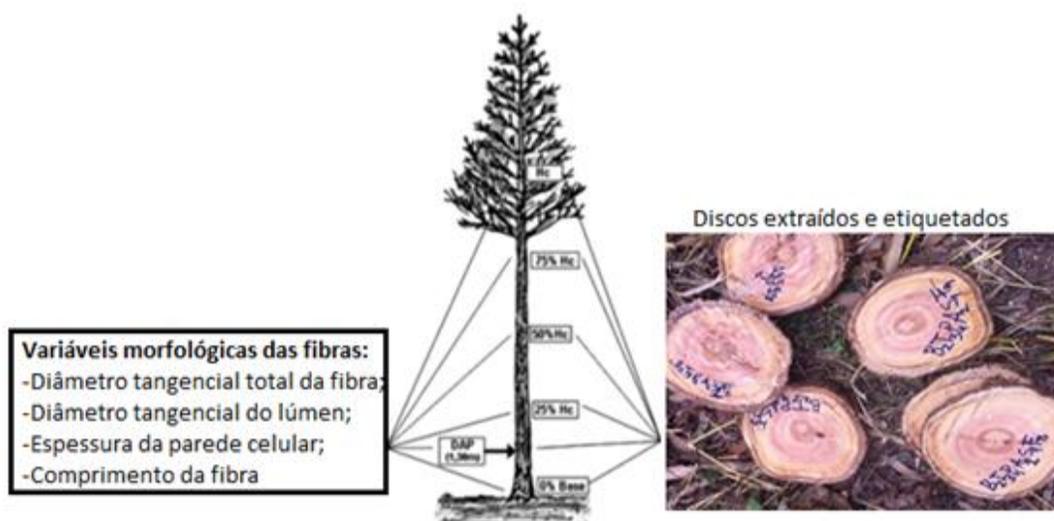


Figura 4: Esquema do procedimento de colecta das amostras nas árvores abatidas.

3.4. Análise laboratorial

3.4.1. Morfologia das fibras

Em cada um dos discos extraídos por árvore e posição axial, retirou-se um bloco de cerne de 2cm³ a partir do qual se fez a laminação histológica em micrótomo deslizante (16µm) na secção transversal e posteriormente montados em lâminas temporais de modo a permitir o exame do diâmetro tangencial da fibra e do lúmen celular, e a espessura da parede celular e comprimento das fibras. No mesmo cubo foram retiradas pequenas porções longitudinais para maceração pelo método de Franklin (1946) (imersão de amostras em 1:1 de CH₃COOH: H₂O₂ a uma temperatura de 90° C durante 4-6 horas). A suspensão macerada foi montada em lâminas temporais e permitiu medir o comprimento e diâmetro das fibras. Os procedimentos de determinação das

relações morfológicas das fibras dos clones de *Eucalyptus* em estudo, obedeceram as normas e terminologias da IAWA Committee (1989).

Após a montagem das lâminas, procedeu-se a captura de microfotografias através de microscópio com câmara (LAICA ICC 50 HD), acoplado ao computador figura 5. As medições dos parâmetros morfológicos foram feitas com base nas microfotografias no programa de análise de imagem (Imagem Pro-Plus 6.0), conforme retrata a figura 5.

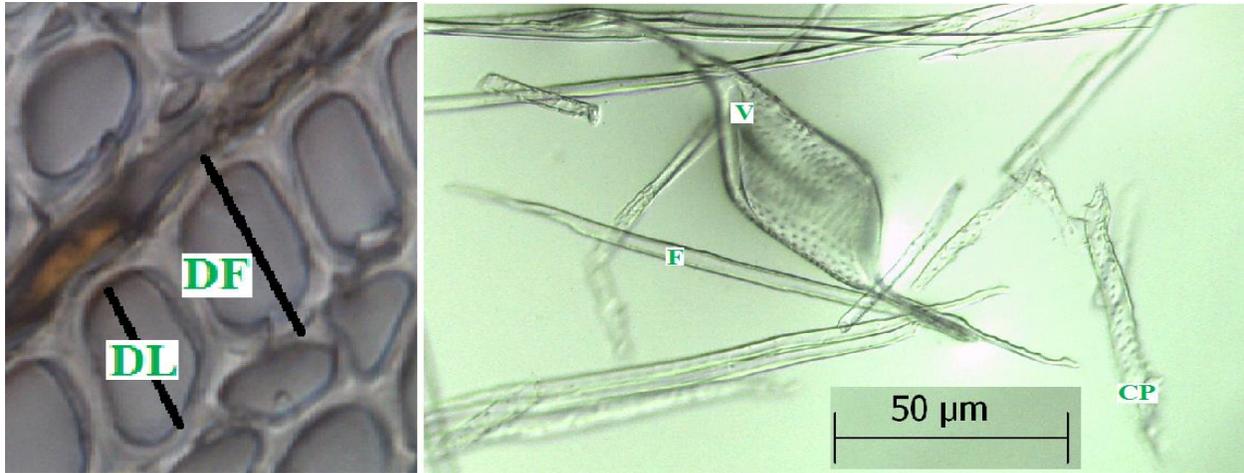


Figura 5: Promenor da mensuração do diâmetro tangencial da fibra e do lúmen celular

DL – Diâmetro tangencial do Lúmen, DF – Diâmetro da Fibra, V – Vaso, F – Fibra, CP – Células de Parênquima

Estas variáveis morfológicas foram usadas para calcular os seguintes índices biométricos que determinam a aptidão das fibras para a produção de polpa de papel.

a). Índice de Runkel

$$IR = \frac{2E}{DL}, \text{Equação n}^\circ [1]$$

b). Índice de Enfeltramento

$$IE = \frac{C}{DF}, \text{Equação n}^\circ [2]$$

c). Coeficiente de Flexibilidade

$$CF = \frac{DL}{DF}, \text{Equação n}^\circ [3]$$

d). Coeficiente de Forma de Luce

$$FCL = \frac{DF^2 - DL^2}{DF^2 + DL^2}, \text{Equação n}^\circ [4]$$

e) Espessura da Parede Celular

$$Esp = \frac{DF - DL}{2}, \text{Equação n}^\circ [5]$$

Onde:

IR – Índice de Runkel (%); IE – Índice de Enfeltramento (%); CF – Coeficiente de flexibilidade (%); FCL – Fator de Forma de Luce (%); EP – Espessura da fibra ou da parede celular da fibra (μm); DF – Diâmetro da fibra (μm); CF – Comprimento das fibras (mm); DL – Diâmetro tangencial do lúmen (μm);

3.5. Análise e processamento de dados

Foram feitas a análise de variância, aplicando o teste de F e teste Tukey ($P \leq 0.05$) para comparar as médias das variáveis morfológicas das fibras em relação a posição axial da altura comercial das árvores (base, 25%, 50%, 75% e topo), e dos índices biométricos que determinam a qualidade morfológica para uma polpagem satisfatória.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Valores médios que caracterizam a morfologia das fibras

As variáveis que caracterizam a aptidão morfológica das fibras das diferentes espécies clonadas testadas estão compiladas na tabela 4 que se seguem.

Tabela 4: Valores médios das variáveis que caracterizam a morfologia das fibras.

Espécies	Variável	Posição axial relativa					Idade (anos)
		Base	0.25	0.5	0.75	Topo	
<i>E.calmadulensis</i>	CF (mm)	1.88 a	1.73 a	1.85 a	1.86 a	1.65 a	6
	DF (µm)	12.98 a	12.3 a	12.73 a	13.26 a	12.36 a	
	DL (µm)	7.27 a	6.55 a	6.62 a	7.4 a	6.59 a	
	EP (µm)	2.86 a	2.88 a	3.06 a	2.93 a	2.89 a	
<i>E.grandis</i>	CF (mm)	2.10 a	2.27 a	2.14 a	2.02 a	2.20 a	7.6
	DF (µm)	15.47 a	15.02 a	15.27 a	15.94 a	15.41 a	
	DL (µm)	8.55 a	7.64 a	8.37 a	9.33 a	8.97 a	
	EP (µm)	3.46a	3.69a	3.45a	3.31a	3.22a	
<i>E.grandis</i>	CF (mm)	2.03a	1.84a	1.99a	1.96a	1.90a	6.3
	DF (µm)	14.94a	15.92a	15.29a	16.97a	18.43a	
	DL (µm)	8.75a	9.75a	9.01a	10.79a	10.68a	
	EP (µm)	3.10a	3.08a	3.14a	3.09a	3.88a	
<i>E.grandis</i>	CF (mm)	1.45a	1.79a	2.05a	1.99a	1.85a	7.2
	DF (µm)	16.88a	13.72a	15.26a	16.39a	15.23a	
	DL (µm)	10.94a	8.97a	8.8a	10.48a	8.38a	
	EP (µm)	3.01a	2.38a	3.23a	2.95a	3.43a	
<i>E.grandis</i>	CF (mm)	1.80a	1.86a	1.70a	1.97a	1.86a	9.8
	DF (µm)	14.45a	15.12a	14.52a	14.56a	16.51a	
	DL (µm)	7.93a	8.45a	8.3a	7.93a	10.39a	
	EP (µm)	3.26a	3.33a	3.11a	3.33a	3.06a	
<i>E.grandis - calmadulensis</i>	CF (mm)	1.77a	2.01a	2.00a	1.86a	1.78a	6.4
	DF (µm)	12.18a	13.61a	14.75a	13.7a	13.25a	
	DL (µm)	8.33a	6.67a	7.73a	7.93a	7.37a	
	EP (µm)	3.21a	3.62a	3.51a	2.88a	2.94a	
<i>E.urophylla</i>	CF (mm)	1.65a	1.62a	1.61a	1.87a	1.65a	6.1
	DF (µm)	14.67a	14.13a	14.57a	14.33a	16.71a	
	DL (µm)	7.9a	7.47a	7.57a	7.54a	9.03a	
	EP (µm)	3.38a	3.33a	3.50a	3.42a	3.91a	
<i>E.urophylla</i>	CF (mm)	2.30a	2.23a	2.23a	2.31a	2.15a	7.5
	DF (µm)	15.57a	15.01a	15.39a	14.72a	16.6a	
	DL (µm)	9.47a	8.99a	9.45a	8.87a	10.41a	
	EP (µm)	3.05a	3.01a	2.97a	3.00a	3.09a	
<i>E.urograndis</i>	CF (mm)	1.77a	1.90a	1.91a	1.92a	1.91a	5
	DF (µm)	13.68a	13.63a	13.34a	12.19a	13.31a	
	DL (µm)	7.67a	6.6a	6.67a	6.24a	7.18a	
	EP (µm)	3.00a	3.52a	3.33a	2.98a	3.07a	

Tabela 4: Valores médios das variáveis que caracterizam a morfologia das fibras (as médias das posições seguidas pela mesma letra indicam que houve uniformidade morfológica ao longo do eixo das árvores). **Legenda:** V – variáveis, CF – comprimento da fibra, DF – diâmetro tangencial da fibra, DL – diâmetro tangencial do lúmen, EP – espessura da parede celular, relativas a altura comercial da árvore (base, 25%, 50%, 75% e topo). Média seguida pela mesma letra não tem efeitos significativos com base no teste de Tukey a uma probabilidade de 0.05%

4.2. Variação axial

4.2.1. Comprimento das fibras

Os valores médios da variação axial das dimensões do comprimento das fibras de cada posição no tronco, após análise de variância, foram comparados entre se pelo teste de Tukey, tendo indicado uma certa uniformidade em todas as posições nas variáveis analisadas.

Silvia (2005), afirma que o comprimento da fibra influencia na resistência do papel a tracção e ao arrebentamento e, para fibras mais longas há menor possibilidade de separar a estrutura do papel quando submetido ao mesmo esforço que uma fibra curta. Assim as espécies de *E. urophylla* de 7.5 anos e *E. grandis* de 7.6 anos de idade apresentaram fibras mais longas em quase todas as posições. Enquanto as espécies de *E. urophylla* de 6.1 anos e *E. grandis* de 7.2 anos de idade apresentaram fibras curtas que potencialmente podem comprometer a resistência do papel a tracção e arrebentamento.

Por outro lado, as dimensões das fibras deste estudo, diferem dos valores encontrados por Valente *et. al.*, (1992) e Hillis (1972), que observaram diminuição do comprimento das fibras ao longo do eixo longitudinal para o género *Eucalyptus*. Entretanto os resultados do comprimento médio das fibras neste estudo, mostram que no sentido longitudinal do fuste as dimensões de comprimento das fibras apresentaram valores relativamente maiores com o aumento da altura do fuste.

Neste sentido, vários pesquisadores mostram como as dimensões das fibras influenciam nas propriedades da celulose ou papel. Segundo Foelkel e Barrichelo (1975), deve-se levar em consideração as diferenças do comprimento das fibras, uma vez que esta característica influencia de forma determinante na resistência a tracção dos papéis, ao arrebentamento e ao rasgo. Já a espessura da parede da fibra tem uma alta relação com a resistência da celulose e do papel. Segundo Hillis (1992), e Paula (1999), afirmam que as fibras com paredes mais espessas

possuem maior teor relativo de celulose do que fibras de paredes finas, existindo, assim, uma correlação positiva entre a espessura da parede e o rendimento em produção de celulose.

4.2.2. Diâmetro tangencial das fibras

Para o diâmetro das fibras foi encontrado uma tendência decrescente da base ao topo do fuste. Silvia (2005), Barrichelo (1975), no seu estudo com *Eucalyptus saligas* e *Eucalyptus globulus* afirmam que isso pode estar relacionado com a eficiência de absorção de água e nutrientes, ou seja, se a planta sente dificuldade em absorver-los, o processo fisiológico de formação de fibra é reduzido para reduzir o gasto de energia, dado origem a fibras atrofiadas na base. Em geral, polpa produzida de fibras de maior diâmetro tangencial tende a produzir polpas com maior rugosidade e papéis com volume específico aparente mais elevado. Essas características podem contribuir favoravelmente para a suavidade ou ternura dos papéis absorventes e para a opacidade dos papéis de imprimir.

4.2.3. Espessura da parede celular

Segundo Shimoyama (1990), fibras com maior espessura de parede contribuem para o incremento da resistência ao rasgo e se correlacionam de forma negativa com o número de fibras por grama de polpa, porém de forma positiva com a rugosidade e o volume específico do papel. A mesma autora salienta que para matéria-prima de *Eucalyptus* os valores da espessura de parede variam de 2.5 a 6.0 μm e diâmetro do lúmen de 6 a 10 μm , estes valores estão coerentes com os resultados encontrados neste estudo, *E. grandis* de 7.2 anos com uma espessura mínima de 2.38 μm e o *E. urophylla* de 6.1 anos com a espessura máxima de 3.91 μm , neste estudo.

Neste estudo, a espessura da parede celular das fibras do *E. urophylla* de 6.1 anos e o *E. grandis* de 6.3 anos de idade apresentaram espessura da parede celular acima dos limites estabelecidos maior nas posições relativas axial dos 75% até ao topo do fuste das árvores, e as outras espécies em análise apresentaram espessura da parede celular com tendência a diminuir da base ao topo. Entretanto, os valores das dimensões das fibras encontrados neste estudo, são semelhantes aos encontrados, por Botrel *et. al.*, (2010), para dimensões de fibras de clones de *Eucalyptus*. Os valores de espessura da parede celular das fibras também se mostram em consonância com os valores encontrados por Morfienski *et. al.*, (2000) ao estudar clones deste género.

Segundo Silvia (2005), este é um dos factores que mais se relaciona com a resistência da celulose, e fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose do que paredes mais delgadas. Nesse trabalho constatou-se que as espécies *E. urophylla* de 6.1 anos, *E. gracalmaldulensis* de 6.4 anos, *E. grandis* de 7.6 anos e *E. urograndis* de 5 anos de idade apresentaram fibras mais grossas nas posições axial relativa da base até ao topo, que proporcionam maior resistência ao papel e a espécie *E. calmadulensins* de 6 anos de idade, apresentou fibras com uma parede celular menos espessas na base e no topo em relação as outras espécies em análise.

4.2.4. Diâmetro tangencial de lúmen

No que concerne ao diâmetro do lúmen das fibras (Santos, 2005) afirma que, quanto maior for, menor será a resistência ao ar e maior será o volume específico aparente e a resistência ao rasgo do papel. A resistência à tracção e ao arrebentamento das fibras são afectados quando são mais largas, devido ao ajuste imperfeito das mesmas no papel. O mesmo autor, relata que fibras com maiores diâmetro de lúmen sofrem maior desfibrilamento durante o processo de refinação, aumentando a área de ligação entre as fibras e, conseqüentemente, a resistência à tracção. Salienta ainda que por sofrerem maior efeito de hidratação, aumentam o volume e geram maior área para ligações, proporcionando maior resistência.

Segundo Silva (2011), Foelkel (1977), afirmam que madeiras com elevada densidade apresentam maior consumo de alcali, pelo facto de apresentar fibras com diâmetros de lúmens mais espessas. O *E. grandis* de 6.3 anos de idade é a espécie que apresentou valores de diâmetro médio maiores na posição axial relativa de 50% até ao topo do fuste, seguida pelo *E. grandis* de 7.2 anos que apresentou valores decrescente na posição axial relativa da base até 25% do fuste, e nas restantes espécies em análise registou-se um ligeiro aumento do diâmetro das fibras ao longo do eixo longitudinal do fuste de 50% até ao topo da altura comercial das árvores. O que indica que a parte basal do fuste dos clones estudados apresenta diâmetro tangencial dos lúmens das fibras mais espessas, isso mostra que podem sofrer maior desfibrilamento durante o processo de polpagem, aumentando assim a área de ligação entre as fibras e, proporcionar maior resistência a tracção e conferindo maior resistência ao papel produzido.

A partir dos valores das dimensões de fibras do material em estudo foi possível se calcular os coeficientes e índices, que serviram como indicadores de aptidão da morfologia das fibras, que indicaram, de forma antecipada e, permitiram compreender as características gerais da polpa e as propriedades do papel que será produzida com esta matéria-prima. De seguida apresenta-se alguns indicadores de aptidão das fibras com base na sua morfologia.

4.3. Aptidão morfológica das fibras para polpagem com base nos índices e coeficientes biométricos

As relações entre as dimensões das fibras são mais importantes do que os valores das suas dimensões isoladamente, resultando em índices que ajudam na classificação da qualidade da madeira para celulose e papel. Os principais índices calculados constam na tabela 5, que mostra as relações directas dos valores médios com a resitência mecânica do papel nas posições axial da altura comercial da árvore (base, 25%, 50%, 75% e topo respectivamente), que são: Índice de Runkel, Índice de Enfletramento, Coeficiente de Flexibilidade, Coeficiente de Forma de Luce e Fração da Parede das fibras.

Tabela 5: Índices biométricos médios indicativos de aptidão das fibras para polpagem

Espécies	Índice	Posição axial relativa					Idade (anos)
		Base	0.25	0.5	0.75	Topo	
<i>E.calmadulensis</i>	IR (%)	0.56a	0.59a	0.62a	0.64a	0.61a	6
	IE (%)	0.12a	0.16a	0.17a	0.14a	0.15a	
	CF (%)	0.54a	0.55a	0.50a	0.56a	0.53a	
	CFL (%)	0.55a	0.53a	0.60a	0.52a	0.56a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E.grandis</i>	IR (%)	1.06ab	1.14ab	1.23ab	1.30ab	1.08ab	7
	IE (%)	0.13a	0.15a	0.16a	0.15a	0.16a	
	CF (%)	0.58a	0.56a	0.52a	0.51a	0.58a	
	CFL (%)	0.49a	0.52a	0.57a	0.58a	0.50a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E.grandis</i>	IR (%)	0.79a	0.95a	0.91a	0.81a	0.88a	6.3
	IE (%)	0.12a	0.12a	0.13a	0.12a	0.14a	
	CF (%)	0.59a	0.59a	0.60a	0.60a	0.59a	
	CFL (%)	0.48a	0.48a	0.47a	0.47a	0.49a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E.grandis</i>	IR (%)	0.65a	0.64a	0.68a	0.68a	0.67a	7.2
	IE (%)	0.12a	0.10a	0.16a	0.12a	0.13a	
	CF (%)	0.63a	0.64a	0.59a	0.59a	0.62a	
	CFL (%)	0.43a	0.42a	0.48a	0.48a	0.45a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	

<i>E. grandis</i>	IR (%)	0.59a	0.61a	0.55a	0.55a	0.61a	9.8
	IE (%)	0.13a	0.14a	0.16a	0.12a	0.10a	
	CF (%)	0.55a	0.55a	0.53a	0.59a	0.59a	
	CFL (%)	0.53a	0.53a	0.56a	0.48a	0.49a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E. grandis - calmadulensis</i>	IR (%)	0.65a	0.76a	0.72a	0.66a	0.67a	6.4
	IE (%)	0.14a	0.15a	0.14a	0.13a	0.20a	
	CF (%)	0.53a	0.57a	0.55a	0.50a	0.96a	
	CFL (%)	0.56a	0.50a	0.54a	0.60a	0.30a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E. urophylla</i>	IR (%)	0.69a	0.92a	0.98a	0.90a	0.90a	6.1
	IE (%)	0.13a	0.14a	0.11a	0.09a	0.12a	
	CF (%)	0.55a	0.54a	0.43a	0.56a	0.56a	
	CFL (%)	0.53a	0.55a	0.69a	0.53a	0.53a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	
<i>E. urophylla</i>	IR (%)	0.60a	0.59a	0.63a	0.61a	0.60a	7.5
	IE (%)	0.17a	0.18a	0.14a	0.14a	0.16a	
	CF (%)	0.55a	0.68a	0.59a	0.65a	0.59a	
	CFL (%)	0.53a	0.44a	0.49a	0.40a	0.48a	
	FP (%)	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	0.30a	

Tabela 5: Índices biométricos médios indicativos de aptidão das fibras para polpagem

Legenda: Índice - Indicador de aptidão, IR – Índice de Runkel, IE – Índice de Enfeltramento, CFL – Coeficiente de Forma de Luce, FP – Fração Parede. Média seguida pela mesma letra não tem efeitos significativos com base no teste de Tukey a uma probabilidade de 0.05%

4.3.1. Índice de Runkel

Este indicador avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de produção de papel, pois quanto menor, maior será o colapso permitindo as fibras uma maior superfície de contacto, estabelecendo maior numero de ligações, resultando em um papel com maior resistência a tracção e ao estouro (Florsheim *et al.*, 2009). A variação axial média nas várias posições axiais testadas está representada no gráfico 5.

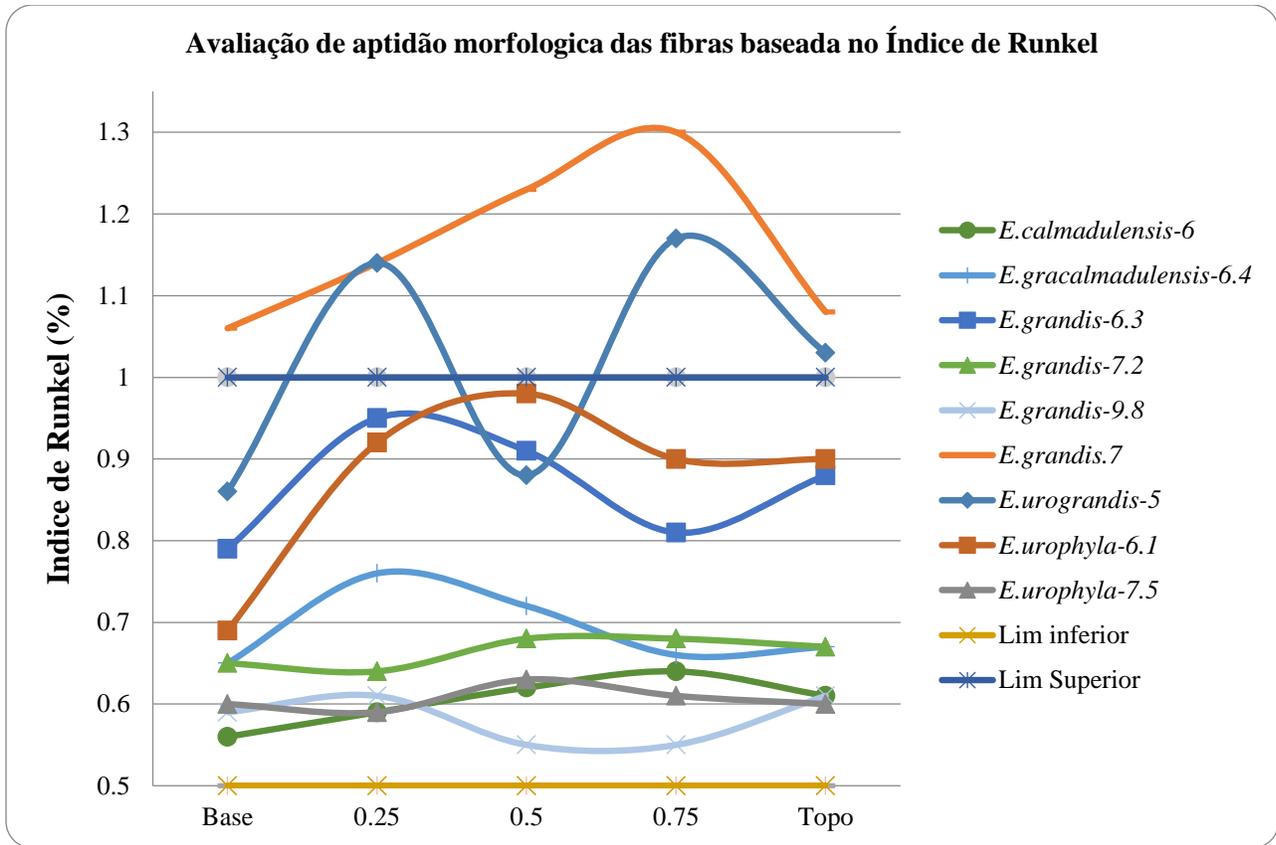


Gráfico 1: Variação axial média do índice de Runkel nas espécies estudadas

Os resultados acima revelam que a maioria das espécies em estudo apresentam um índice de runkel que esta no intervalo de 0,50 a 1,00 considerada boa para a produção de celulose para papel, excepto o *E. grandis* de 7 e o *E. urograndis* de 5 anos de idade que apresentaram um indice de runkel que esta no intervalo de 1.0 a 1.3, considerada regular para a produção de polpa para papel. Por outro lado, o *E. urograndis* de 5, apresentou um indice de runkel na base até 12% e dos 32% até 63% do fuste que esta dentro dos limites estabelecidos considerada boa para a polpagem. Segundo Hillis (1992) e Paula (1999), afirmam que as fibras com paredes menos espessas possuem menor teor relativo de celulose do que fibras de paredes grossa. Os clones *E. grandis* de 6.3 e *E. urophylla* de 6.1 anos de idade apresentaram um indice de runkel que situa-se 0.7 % limite inferior e 1.0 limite superior considerada boa para a produção de celulose para papel e as restantes estão no intervalo de 0.5% e 0.7% na posição axial relativa base, 25%, 50%, 75% e topo, consideradas muito boas para a produção de celulose para papel.

Índice de Runkel e a Fracção Parede mostram tendências de aumentarem da base para o topo da árvore. Estes resultados estão em conformidade com o estudo da madeira de *E. grandis* aos sete anos de idade, realizado por Rocha *et. al.*, (2004). Por outro lado, contrariam a pesquisa realizada por Shimoyama (1990). O Índice de Runkel e a Fracção Parede encontram-se relacionados à rigidez da fibra. Quanto maior o seu valor, mais rígida pode-se tornar a fibra. Isso irá dificultar a formação do papel, afectando as suas propriedades de resistência. Sangumbe *at. al.*, (2018), estudando *Brachystegia spiciformis* e *Pericorpsis angolensis* encontrou um índice de Runkel acima de 1.0 considerada regular para a produção de polpa para papel.

Os resultados do índice de Runkel para as espécies em estudo indicam que estão dentro dos limites de uma fibra considerada boa para a produção do papel, encontra-se entre os limites 0.5 ate 1mm que apresentam características mecânicas modestas, o valor da relação indica que sendo aumentada a espessura da parede celular em relação ao caso anterior, diminui-se a secção do lume expecto o *Eucalyptus urophyllaxgrandis* que pertence ao grupo IV, os valor da relação indicam claramente que o diâmetro do lume diminui fortemente, enquanto as paredes se tornam espessas, portanto as fibras são rígidas e tem baixa capacidade para fabricação de papel. Valores altos não são desejados uma vez que a fibra se torna rígida e com maior dificuldade de acomodação e união na folha de papel.

4.3.2. Coeficiente de flexibilidade

Outro indicador estudado é o coeficiente de flexibilidade, representado no gráfico 2 abaixo, que caracteriza as fibras quanto a sua flexibilidade nas ligações entre as mesmas, para conferir maior resistência ao papel.

Os valores referentes ao coeficiente de flexibilidade sugerem que as fibras das espécies estudadas apresentam morfologia favorável para a produção de papel, caracterizadas por uma espessura média da parede celular menor em relação ao diâmetro do lumen. Este coeficiente mostra tendência de ser maior na parte inferior do tronco. Na parte superior do fuste (a parte de 50% da altura comercial das árvores que mostra pouca variação.

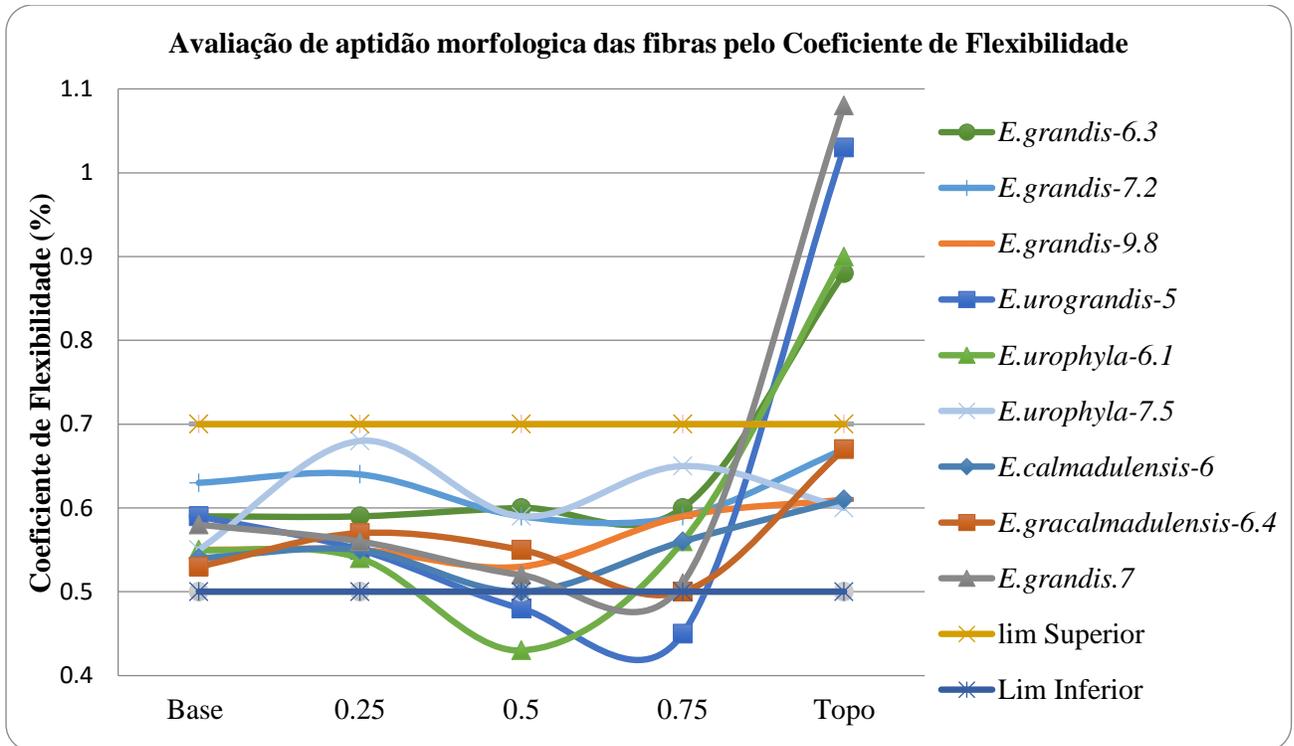


Gráfico 2: Variação axial média do coeficiente de flexibilidade nas espécies estudadas

Os resultados do gráfico 2, revelam que quase todas fibras das espécies estudadas apresentaram valores dentro dos limites criticos, excepto o *E. urophylla* de 6.1 anos, *E urograndis* de 5 anos e *E. grandis* de 7 anos de idade que apresentaram valores de coeficientes de flexibilidade abaixo dos limites estabelecidos na posição axial relativa dos 50% até 75% do fuste da árvore. Pode-se observar ainda que as fibras dos clones de *E. grandis* de 6.3, de 7 anos, *E. urograndis* de 5 anos e o *E. urophylla* de 6.1 anos de idade apresentaram um coeficiente de flexibilidade acima do limite superior na posição axial relativa dos 75% até ao topo do fuste da árvore. Esse facto, revela que as fibras desses clones possuem diâmetro tangencial de lúmen maiores.

4.3.3. Fracção parede

Segundo Santos (2005), a relação entre a espessura da parede celular e a metade da largura da fibra é denominada fracção parede. Quando a fracção parede é maior que 40% as fibras serão extremamente rígidas, pouco flexíveis e haverá dificuldades na interligação das mesmas. Para o mesmo autor, fibras com fracção parede elevada geram papéis com volume específico aparentemente alto, pois ao serem comprimidas durante a formação do papel, o grau de colapso é

baixo. A fracção parede das fibras de todas espécies em análise apresentaram um bom índice. De acordo com Foelkel; Barrichelo (1975), fracção parede é um índice que influencia a qualidade da celulose e valores superiores a 40% não produzem celulose de boa qualidade porque as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades nas interligações das mesmas. Esse dado possibilita a inferência de que a celulose produzida com a madeira das espécies testadas poderá ter boa qualidade (30%), isto é, valor inferior a 40%. Este cenário indica que as fibras destas espécies são muito flexíveis e há facilidade na interligação das mesmas.

4.3.4. Índice de enfielamento

Segundo Mogollon & Aguilera (2002), o índice de enfielamento (IE) também está relacionado à flexibilidade da fibra, e maiores valores desse índice caracterizam fibras mais flexíveis e melhores propriedades ao papel. A variação axial média do IE está representada no gráfico 3. Ele representa a relação entre o comprimento e a largura (diâmetro) da fibra, e apesar das fibras do género *Eucalyptus* serem relativamente curtas em relação à média para folhosas, os resultados neste estudo reflectem um IE alto se comparado à *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearsii*, com IE de aproximadamente 54%.

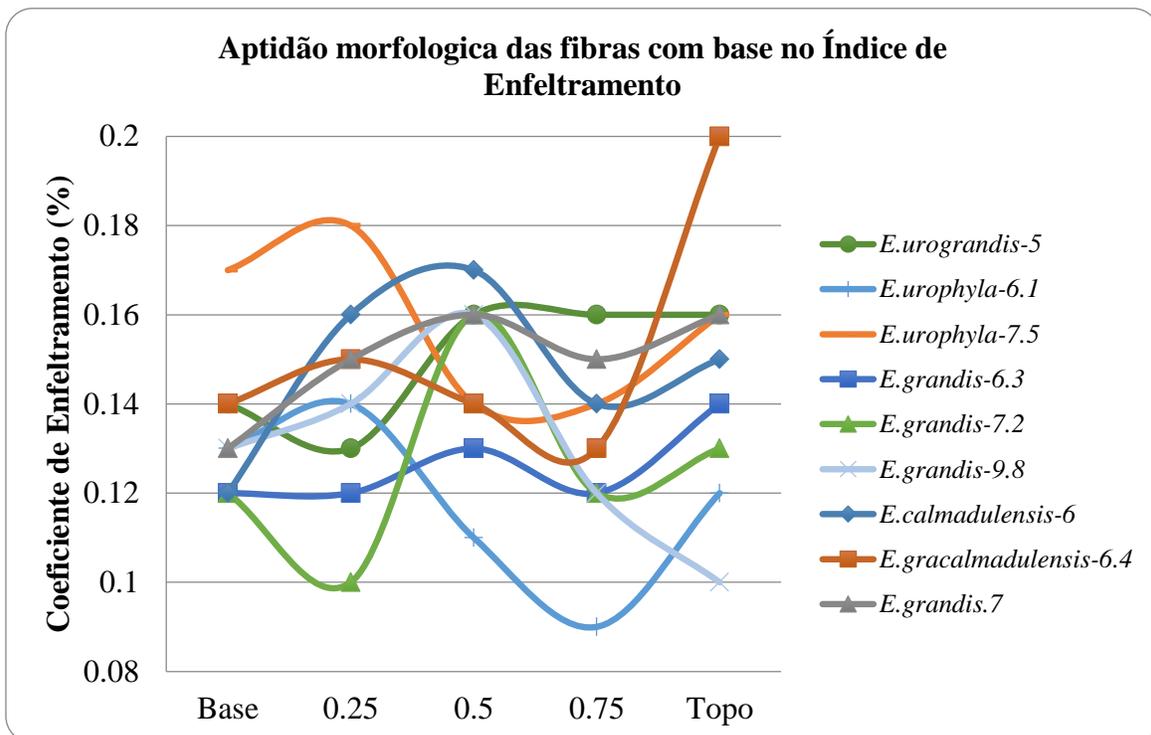


Gráfico 3: Variação axial média do índice de enfeltramento nas espécies estudadas

O gráfico 3 mostra que as fibras de todas espécies estão fora dos padrões estabelecidos em todas as posições axiais relativas (base, 25%, 50%, 75% e topo) no fuste das árvores, o que indica que com base no índice de enfeltramento pode-se descartar essas espécies numa seleção rigorosa de matéria-prima para a produção de celulose para papel.

As fibras das espécies em estudo caracterizam-se por apresentar um coeficiente de enfeltramento que mostra colapsidade parcial e uma superfície de contacto de baixa qualidade. Segundo Duarte (2007), fibras com coeficiente de enfeltramento acima de 50% apresentam boa união das fibras e acima de 70% indica alto coeficiente de colapsidade. Morgollon e Aguilera (2002) afirma que o coeficiente de enfeltramento tem relação directa com a resistência ao rasgo e arrebentamento e, Baldi, (2001), salienta que madeira com coeficiente de enfeltramento acima de 50% indica boas características do papel relacionadas ao rasgo e dobras duplas.

4.3.5. Coeficiente de Forma de Luce

O Coeficiente de Forma de Luce (gráfico 4), indica a relação das dimensões dos diâmetros dos lúmens e das fibras quanto a sua colapsabilidade, que é a diminuição parcial ou total do volume do lúmen relativamente ao volume inicial da fibra, aumenta a conformabilidade das fibras, assim como a superfície do contacto entre elas. Estas características favorecem o desenvolvimento da densidade, das resistências mecânicas do papel bem como a diminuição da opacidade e varia de 0

a 1, limite em que as fibras estão totalmente em colapso e permitem um bom contacto entre elas.

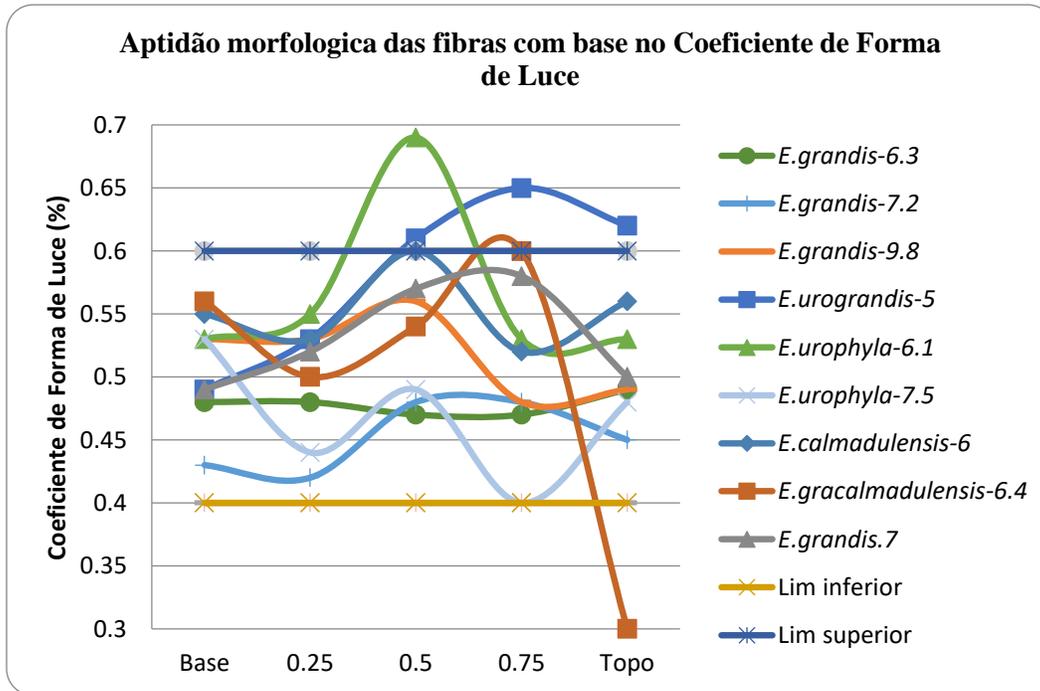


Gráfico 4: Variação axial médio do coeficiente de forma de Luce nas espécies estudadas

O gráfico 4 acima mostra que o *E. gracalmadulensis* é a espécie que apresentou um coeficiente de forma de Luce menor que esta abaixo dos limites estabelecidos na posição axial relativa dos 75% até ao topo. Esta situação indica que as fibras da parte inferior do fuste apresentam menor colapsibilidade e que podem ser potencialmente excluídas como matéria-prima para a produção da celulose para papel. As fibras que estão dentro dos intervalos estabelecidos apresentaram um coeficiente de forma de Luce de qualidade desejável para polpagem.

Por outro lado o *E. urophylla* de 6.1 anos de idade apresentou um coeficiente de forma de Luce acima dos limites estabelecidos, na posição axial relativa a 25% até 50% do fuste, e o *E. urograndis* de 5 anos também apresentou um coeficiente de forma de Luce acima do limite na posição axial de 50% até ao topo das árvores. As fibras dos restantes clones de *Eucalyptus* estudadas apresentaram um coeficiente de forma de Luce que esta dentro dos limites de (40% a 60%) no eixo longitudinal do fuste. Os resultados das comparações das médias dos parâmetros morfológicos das fibras em relação a posição axial da altura comercial da árvore (base, 25%,

50%, 75% e topo), revelaram haver diferenças significativas entre as médias (ver as tabelas em anexo).

4.4. Influência da idade nos indicadores de qualidade morfológica das fibras

Para os valores médios do diâmetro da fibra e diâmetro tangencial do lúmen, observou-se um aumento dessas dimensões até a metade da altura do fuste em função da idade das espécies em estudo. No geral todas as fibras das espécies avaliadas mostraram um aumento do comprimento médio das fibras nas posições axial do tronco dos 50% até ao topo em função das idades.

Segundo Tamazello (1985), as dimensões das fibras podem ser influenciadas pela idade, pois com o aumento da mesma as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões ao longo do raio até atingirem a estabilização em idades mais avançadas. As fibras testadas neste trabalho seguiram a tendência reportada pelos vários autores, isto é, quanto maior for a idade, maior é o comprimento, espessura e largura da fibra.

No sentido axial base topo, verificou-se um aumento de ambas as dimensões com o aumento da idade. Segundo Conw, (1975), Silvia (2005), esta tendência é influenciada pelo crescimento apical e pela copa da árvore.

5. CONCLUSÕES

O estudo concluiu que com base no índice de Runkel, as fibras de melhor aptidão morfológica são das espécies *E. grandis* de 6.3, 7.2 e de 9.8 anos, *E. urophylla* de 6.1, 7.5 anos, e o *E. calmadulensis* que estão no intervalo de 0,50 a 1,00 considerada boa para a produção de celulose para papel, excepto o *E. grandis* de 7 anos de idade, que na posição axial relativa da base até 25% apresentou um índice de Runkel que esta no intervalo de 1.0 a 1.2 considerada regular para a produção de celulose para papel.

Com base no Coeficiente de Flexibilidade constatou-se que as melhores fibras foram das espécies *E. grandis* de 6.3, 7 anos, *E. urograndis* de 5 anos e o *E. urophylla* de 6.1 anos de idade, que mostraram-se sendo os melhores clones para a produção de celulose para papel, porque apresentaram valor do coeficiente acima do limite superior estabelecido na posição axial relativa dos 75% até ao topo do fuste da árvore.

No concernente ao índice de enfiamento, o estudo concluiu que todas as fibras, tiveram um índice que esta abaixo dos limites inferior e superior estabelecidos (40% e 50%) respectivamente, e que não podem ser consideradas boas para a polpagem, o que pode influenciar negativamente as propriedades do papel relacionadas com o rasgo e dobras duplas.

Com base no coeficiente de forma de Luce o estudo constatou que as fibras mais aptas são *E. grandis* de 6.3, 7 anos e *E. urograndis* de 5 anos de idade excepto as fibras do *E. gracalmaldulensis* que apresentou um coeficiente abaixo dos limites estabelecidos na posição axial relativa dos 75% até ao topo do fuste. Esta situação indica que as fibras da parte superior do fuste deste clone apresentam menor colapsibilidade e que podem ser potencialmente excluídas como matéria-prima para a polpagem e do *E. urophylla* de 6.1 anos de idade apresentou um coeficiente acima dos limites estabelecidos, na posição axial relativa a 25% até 50% do fuste.

Em suma, o estudo concluiu com base na maioria dos indicadores biométricos que as fibras de quase todas as espécies apresentam bom potencial para a polpagem, excluído o índice de enfiamento que indicou que todas as fibras das espécies clonadas não apresentam um bom potencial para a produção de polpa. Com base nos restantes indicadores avaliados, as fibras

consideradas mais aptas para a polpagem, pertencem as espécies *E. grandis* de 6.3 e 7 anos, *E. urophylla* de 6.1 anos e o *E. urograndis* de 5 anos de idade. As fibras de *E. gracalmaldulensis* e o *E. urograndis* de 5 anos de idade tiveram uma qualidade regular, sendo que pode-se potencialmente descartar a posição axial relativa dos 75% ao topo dos fustes das árvores de *E. gracalmaldulensis* e para o caso de *E. urograndis* pode-se descartar as posições axial relativa dos 12% até 32% dos 63% até ao topo do fuste destas arvores.

5.1. RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se descartar as fibras dos topos das árvores da espécie *E. gracalmaldulensis*;
- Descartar ainda as seguintes posições axiais dos 12% até aos 32% e dos 63% até ao topo da altura comercial do fuste das árvores do *E. urograndis* com base no índice do Runkel;
- Efectuar estudos mais aprofundando usando o índice de enfeltramento;
- Recomenda-se efectuar outros estudos dos factores que influenciam a qualidade de polpa para papel, comparando a composição química da madeira;
- Recomenda-se ainda que se envidem esforços de pesquisar para conhecer a qualidade de papel e características produzida usando essas espécies de eucaliptos plantados em Manica da empresa Infloma;
- Realizar estudos similares em outras zonas onde tem plantações das mesmas espécies;
- Verificar a influência das técnicas silviculturais, tais como desbastes e desrames interferem na qualidade da madeira;
- Levar a cabo ensaios com uma maior amplitude de espaçamentos e doses de adubo, com o objectivo de determinar a melhor alternativa para a produção de celulose para papel;
- Realizar estudos com papel fabricado com estas espécies estudadas e uma análise económica;

6. REFERENCIA BIBLIOGRAFIA

Andrade, A. M., (2009). *Tecnologia na produção de celulose e papel*. Qualidade na Produção Agropecuária. Alegre-ES.. p.121- 141.

Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP: disponível em www.abtcp.com.br. Acesso em 20 mar 2017.

Associação Portuguesa de Celulose e Papel - CELPA: disponível em www.celpta.pt. Acesso em 20 mar 2017. On line.

Barbosa, F., (2001). *The Eucalyptus fiber for printing & writing papers*. Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignin and Other Wood Components, 7., Belo Horizonte, 2001. Papers Belo Horizonte, s.ed.,2p.

Bamber, R. K., (1985). *The wood anatomy of eucalyptus and paper making*. Appita Journal, v.38, n.3, p.210-216.

Barrichelo, L. E. G., Brito, J. O. (1976). *A madeira das espécies de eucalipto com matéria-prima para a indústria de celulose e papel*. Seria divulgação PRODEPEF, Brasília, n. 13, p. 1-145.

Bortrel, M. C. G., Trugilho, P. F., Rosado, S. C. S., Silva, J. R. M. (2010). Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 237-245.

Carrillo I., Vidal C., Juan P., Elissetche J. P. & Mendonça R. T., (2017). *Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of Eucalyptus globulus: a review*. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, DOI: 10.2989/20702620.2016.1274859

Casals, R. (2009). *Características del papel*. Barcelona: Howson – Algraphy, s.d..174p.

Castelo, P. A. R., (2007). *Avaliação da qualidade da madeira de Pinus taeda em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão*. 2007, 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

Carvalho, H. G., (1998). *Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto*. In: Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, 31., São Paulo, 1998. Anais São Paulo: ABTCP, p.367-381.

Carvalho, M. G., (1997). *A comparative study of two automated techniques for measuring fiber length*. Tappi Journal, v.80, n.2, p. 137-142.

Cherkassky, H. H. As perspectivas da Indústria de Papel e Celulose, Mar/Abr, 1987.

Duarte F. A. S., (2006). *Avaliação da madeira de Betula pendula, Eucalyptus e de híbrido de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla destinadas a produção de polpa celulósica kraft*. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Pericicaba. 108p

Grande, M., (2004). *Racionalização do uso de água na indústria de celulose o caso bahia pulp*, Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo, Deptº de Engenharia Ambiental Universidade Federal da Bahia 158p

Florsheim, S. M. B., Couto H. T. Z., Lima, I. L., Longui, E. L., (2009). *Variação nas dimensões dos elementos anatómicos da madeira de Eucalyptus dunii aos sete anos de idade*. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, V.21, n.1 p79-91.

Foelkel, C., (2007). *As fibras dos Eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose Kraft para a fabricação de papel*. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP). Eucalyptus Online Book & Newsletter. Botnia Brasil.

Foelkel, C. E. B., (1978). *Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor*. Boletim informativo. I Congresso brasileiro sobre qualidade da madeira. São Paulo, 25f. nov. Disponível <20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf>.em: Acesso em: 2015

Foelkel, C. E. B., (2010). *Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel*. (s.d.). Disponível em:<<http://www.celsofoelkel.com.br/artigos32%20final.doc>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

Foelkel, C., (2009). *Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf*. 2010. eucaliptos.. Disponível Acesso em: em: 10 mar

Foelkel, C., (2006). Mercado de papel e Celulose. ABTCP, graus celso Brasil

Hillis, W. E., (1972). *Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry*. Appita Journal, Melbourne, v.26, n. 2, p. 113-121.

IPT., (1998). *Celulose e papel*. São Paulo: IPT., v. 2: tecnologia de fabricação de papel. 402p.

Wheeler E. A., Baas P. & Gasson P. E., (1989). *IAWA – List of microscopic features for hardwood identification by IAWA committee.. IAWA COMMITTEE*. 1989. International Association of Wood Anatomists

Klock, U., *at. al.*, (2005). *Química da madeira*. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

Kollmann, F. P. K.; *at. al.*, (1968). *Principles of wood science and technology*. Berlin: Springer-Verlag, v. 1: solid wood. 592 p.

MEA, (2014). *Perfil do Distrito de Manica, Província de Manica*, Ministério de Administração Estatal, 5º ed. Moçambique, 91p.

Martins D. D. S. P., (2016). *Estudo sobre a aptidão papeleira de quatro espécies de eucalipto: E. botryoides, E. propínqua, E. maculata e E. sideroxylon*, dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 70p

Miranda, M. (2012). *Avaliações anatômica das fibras da madeira de Parkia gigantocarpa* Ducke Hughes, J. F. *The wood structure of Pinus caribea Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement*. In: Burley, J.; Nikkles, D. G. (1973). *Selection and breeding to improve some tropical conifers*. Oxford: Commonwealth Forestry Institute. p. 13-22.

Mogollon, G.; Aguilera, A., (2002). *Guia teórica y practica de morfologia de la fibra*. Madeira: Universidad de Los Andes 48p.

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

Noah, A. S., Ogunleye, M. B., Abiola, b. J. K., & Nnate, F. N., (2015). *Fibre Characterisation of Gerdenia Ternifolia (Linn C.) Schumach for its Pulping Potential* American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) (2015) Volume 14, No 2, 322-332 pp.

Nube T. G. (2013). *Impactos socioeconómicos das plantações florestais em Moçambique: um estudo de caso na Província do Niassa*. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Brasil Curitiba 94p.

Samistraro G., (2009). *Previsão das propriedades físicas do papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (nir) e regressão por mínimos quadrados parciais (pls)*, Curitiba, Brasil

Santo J. M., (2010). *Utilização de parâmetros anatômico da madeira de dois clones de híbridos naturais de eucalyptus grandis como índices de qualidade para a produção de papel*, Curitiba Brasil 45p.

Silva, M. G., (2011). *Produtividade, idade e qualidade da madeira de Eucalyptus destinada à produção de polpa celulósica branqueada*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Paula, J. E. , (1999). Caracterização anatômica de madeiras nativas do Cerrado com vista a produção de energia. *Cerne, Larvas*, v. 5 n2, p 26-40.

Pulp and Paper Institute Center – PPIC (2017).: disponível em www.ppic.org.uk. Acesso em 20 mar.

Tsoumis, G., (1991). *Science and technology of wood structure, properties, utilization*. New York: Chapman & Hall, 494 p.

Remade (2004). *A madeira de eucalipto na indústria moveleira*. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/revista/70/ed70eucalipto.php>> Acesso em: 01 mai..

Valente, C., (1992). *Improvement program for Eucalyptus globulus at Portucel: Technological component*. *Appita Journal*, v.45, n.6, p.403-407.

Wallis, A., (1996). *Analytical characteristics of plantation eucalypt woods relating to Kraft pulp yields*. *Appita Journal*, v.49, n.6, p.427-432.

Wallis, A., (1996). *Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps*. *Appita Journal*, v.49, n.4, p.258-262.

Sangumbe L. V. M., Pereira M., Carrillo I., Mendonça R. T., (2018). *An exploratory evaluation of the pulpability of brachystegia spiciformis and pericopsis angolensis from the angolan miombo woodlands*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 183 – 198p.

Sékula P. R., (2011) *Uso de modelo de referência para melhoria do processo de fabricação de papel kraft*, Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 133p

Shimoyama, V. R. S., (1990). *Variação da Densidade Básica e Características Anatômicas e Químicas da Madeira em Eucalyptus spp.* Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , Universidade de São Paulo Piracicaba. 93p

IAWA. (1989). *List of microscopic features for hardwood identification*. IAWA Bulletin, 10 (3):221-359.

Anexo

Anexo 1: Tabela de ANOVA dos parâmetros dos indicadores morfológicos das fibras

dbc(Altura,Espécies,CF,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da análise de variancia

GL SQ QM Fc Pr>Fc
Tratamento 4 0.07248 0.018119 1.3871 0.26052
Bloco 8 1.24104 0.155130 11.8759 0.00000
Residuo 32 0.41800 0.013063
Total 44 1.73152

CV = 5.97 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.1811663

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Niveis Medias
1 0 1.861111
2 0.25 1.916667
3 0.5 1.942222
4 0.75 1.973333
5 1 1.883333

> dbc(Altura,Espécies,DF,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da análise de variancia

GL SQ QM Fc Pr>Fc
Tratamento 4 5.383 1.3457 1.7904 0.155095
Bloco 8 59.803 7.4754 9.9458 0.000001
Residuo 32 24.051 0.7516
Total 44 89.237

CV = 5.91 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.6189282

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Niveis	Medias
1	0 14.53556
2	0.25 14.27333
3	0.5 14.56889
4	0.75 14.67333
5	1 15.31222

```
> dbc(Altura,Espécies,DL,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)
```

Quadro da analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	4.758	1.1895	2.3329	0.076876
Bloco	8	49.116	6.1395	12.0413	0.000000
Residuo	32	16.316	0.5099		
Total	44	70.190			

CV = 8.55 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.9327958

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Niveis	Medias
1	0 8.534444
2	0.25 7.898889
3	0.5 8.057778
4	0.75 8.501111
5	1 8.777778

```
> dbc(Altura,Espécies,EP,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)
```

Quadro da analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0.1969	0.049228	0.78125	0.54573
Bloco	8	1.4905	0.186315	2.95684	0.01356
Residuo	32	2.0164	0.063012		
Total	44	3.7038			

CV = 7.85 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.5834246

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Níveis Medias
1 0 3.147778
2 0.25 3.204444
3 0.5 3.255556
4 0.75 3.098889
5 1 3.276667

Anexo 2: Tabelas de ANOVA das relações morfológicas das fibras

> dbc(Altura,Espécies,IR,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da análise de variancia

GL SQ QM Fc Pr>Fc
Tratamento 4 0.05968 0.014919 3.213 0.025183
Bloco 8 1.70162 0.212702 45.803 0.000000
Residuo 32 0.14860 0.004644
Total 44 1.90990

CV = 8.67 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.8680081

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a	0.25	0.8155556
a	0.75	0.8133333
ab	0.5	0.8
ab	1	0.7833333
b	0	0.7166667

> dbc(Altura,Espécies,IE,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da análise de variancia

GL SQ QM Fc Pr>Fc
Tratamento 4 0.0022533 0.00056333 1.6837 0.178032
Bloco 8 0.0085378 0.00106722 3.1897 0.008941
Residuo 32 0.0107067 0.00033458
Total 44 0.0214978

CV = 13.09 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.8540958

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Niveis	Medias
1	0 0.1333333
2	0.25 0.1411111
3	0.5 0.1477778
4	0.75 0.1300000
5	1 0.1466667

> dbc(Altura,Espécies,CF,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da analise de variancia

GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4 0.030809	0.0077022	1.5133	0.22171
Bloco	8 0.069818	0.0087272	1.7147	0.13308
Residuo	32 0.162871	0.0050897		
Total	44 0.263498			

CV = 12.52 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 1.823246e-06

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

Niveis	Medias
1	0 0.5677778
2	0.25 0.5811111
3	0.5 0.5322222
4	0.75 0.5566667
5	1 0.6111111

> dbc(Altura,Espécies,CLF,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)

Quadro da analise de variancia

GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4 0.023569	0.0058922	1.9392	0.127906
Bloco	8 0.081258	0.0101572	3.3429	0.006823
Residuo	32 0.097231	0.0030385		
Total	44 0.202058			

CV = 10.68 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

p-valor: 0.01211409

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.

```
Niveis Medias
1 0 0.5100000
2 0.25 0.5000000
3 0.5 0.5566667
4 0.75 0.5233333
5 1 0.4911111
```

```
-----
> dbc(Altura,Espécies,FP,quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigF =0.05,sigT = 0.05)
-----
```

Quadro da analise de variancia

```
-----
          GL      SQ      QM Fc Pr>Fc
Tratamento 4 1.1093e-31 2.7733e-32 1 0.42195
Bloco      8 2.2187e-31 2.7733e-32 1 0.45509
Residuo    32 8.8747e-31 2.7733e-32
Total     44 1.2203e-30
-----
```

CV = 0 %

```
-----
Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)
```

p-valor: 2.907594e-11

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

```
-----
De acordo com o teste F, as medias nao podem ser consideradas diferentes.
```

```
Niveis Medias
1 0 0.3
2 0.25 0.3
3 0.5 0.3
4 0.75 0.3
5 1 0.3
-----
```