

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS ANATÔMICOS DA  
MADEIRA DE DOIS CLONES DE HÍBRIDOS NATURAIS DE  
*Eucalyptus grandis* COMO ÍNDICES DE QUALIDADE PARA A  
PRODUÇÃO DE PAPEL

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2010

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS ANATÔMICOS DA  
MADEIRA DE DOIS CLONES DE HÍBRIDOS NATURAIS DE  
*Eucalyptus grandis* COMO ÍNDICES DE QUALIDADE PARA A  
PRODUÇÃO DE PAPEL

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade Federal  
do Espírito Santo, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2010

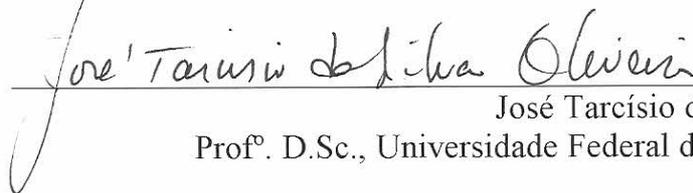
BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS ANATÔMICOS DA  
MADEIRA DE DOIS CLONES DE HÍBRIDOS NATURAIS DE  
*Eucalyptus grandis* COMO ÍNDICES DE QUALIDADE PARA A  
PRODUÇÃO DE PAPEL

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da  
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do  
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 11 de junho de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA



José Tarcísio da Silva Oliveira  
Prof<sup>o</sup>. D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



Humberto Fantuzzi Neto  
Prof<sup>o</sup>. M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo



Júpiter Israel Muro Abad  
Engenheiro Florestal, FIBRIA Celulose S.A.



Rafael Leite Braz  
Engenheiro Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo

## AGRADECIMENTOS

À Deus que sempre foi acionado em meus pensamentos.

Aos meus Avós Valdira e Miguel pelo amor e dedicação.

À minha mãe, Margarete, que é fonte de força inesgotável. Amo-te incondicionalmente!!!

Aos tios Lastênio e Filinha pela acolhida, pela preocupação diária, pela confiança, pelos conselhos, pelos ensinamentos de vida, pelos recadinhos, pela comidinha deliciosa, enfim, pelo carinho de Pai e Mãe que tiveram comigo ao longo desses 5 anos. Muito Obrigada!!! Amo vocês!!!

À todos os meus familiares de Alegre, em especial a Tia Ana e Edna, que me acolheram com muito amor.

Ao Érico pelo amor, paciência e por compreender minha ausência.

Ao Professor José Tarcísio pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela paciência, confiança, pelas trocas de idéias, pelas caronas, por mostrar que com dedicação conseguimos vencer e pelo carinho especial.

Ao Professor Humberto pela amizade e por aceitar ser meu conselheiro.

Ao Júpiter da empresa FIBRIA Celulose, por aceitar participar da minha banca.

Ao Mestrando Rafael Leite Braz, por aceitar participar da minha banca, pelas ajudas, por sempre me ouvir e pelas conversas diárias.

Ao Professor Wendel pela consideração e pelas aulas maravilhosas de seminário.

À empresa Fibria pela doação do material para o estudo.

A todos os professores do DEF pelo conhecimento adquirido nesses 5 anos.

Aos amigos: Daniele, Wesley (Monge), Huezer, Douglas (Mexicano), Heitor, Flavinho (Murrinha) pelas risadas e o carinho fraternal.

Aos amigos do Laboratório de Ciência da Madeira, Rafael (Ipatinga), José Geraldo, Elecir, Rejane, Javan, Gilson e Ana Paula, pela convivência diária e pelos momentos de descontração. Enfim, agradeço a todos os sorrisos e gestos de amizade encontrados no decorrer dessa caminhada.

## RESUMO

Os plantios florestais brasileiros, principalmente os do gênero *Eucalyptus*, vêm suprimindo as demandas de matéria-prima das empresas de celulose e papel, devido a sua grande adaptação e produtividade. Tal aspecto é explicado pelos estudos e pesquisas na área de melhoramento e manejo florestal. A madeira produzida por estes plantios devem obedecer a regras de qualidade para atender o mercado consumidor, que neste caso, serão as empresas que produzem celulose com intuito de produzir papéis de imprimir/escrever e papéis absorventes. A anatomia da madeira poderá fornecer alguns índices de qualidade da polpa celulósica, que de antemão poderá indicar o emprego de determinada madeira. O presente trabalho teve como principal objetivo, analisar as aplicações da madeira de eucalipto para produção de papel por meio de índices de qualidade. O estudo ocorreu no Laboratório de Ciência da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (LCM/CCA/UFES). O material utilizado para o estudo é proveniente de seis regiões de fomento florestal da empresa FIBRIA Celulose S.A.. Foram utilizados dois clones do híbrido natural de *Eucalyptus grandis*. Os dados utilizados para o cálculo dos índices são provenientes do estudo feito por Oliveira (2009). A partir do estudo pode-se concluir que os índices são boas ferramentas para inferir na qualidade da madeira de eucalipto para a produção de polpa celulósica destinada à fabricação de papel.

Palavras-chave: lenho, produção de celulose, fibra curta, anatomia.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS _____	vii
LISTA DE FIGURAS _____	viii
1 INTRODUÇÃO _____	1
1.1 O problema e sua importância _____	1
1.2 Objetivos _____	3
1.2.1 Objetivos específicos _____	3
2 REVISÃO DE LITERATURA _____	4
2.1 Setor de Celulose e Papel no Brasil _____	4
2.1.1 Celulose _____	4
2.1.2 Papel _____	5
2.2 Matérias-primas para a produção de celulose _____	6
2.2.1 Matérias-primas não lenhosas _____	7
2.2.2 Matérias - primas lenhosas _____	8
2.3 A celulose de fibra curta _____	8
2.3.1 O eucalipto como matéria-prima para produção de celulose (papel) _____	10
2.4 Propriedades do papel e relação com as dimensões das fibras ____	11
2.5 Características anatômicas e seu efeito sobre as propriedades do papel _____	11
2.5.1 Índices indicativos de qualidade da madeira para papel ____	12
2.5.1.1 Índice de Enfeltramento _____	13
2.5.1.2 Coeficiente de Flexibilidade _____	13
2.5.1.3 Fração Parede _____	14
2.5.1.4 Índice de Runkel _____	14
2.5.1.5 Índice de Mulsteph _____	15
2.5.1.6 Índice de Boiler _____	16
2.5.1.7 Frequência e Dimensão dos Vasos _____	16

3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Material	17
3.2	Amostragem	18
3.3	Metodologia	19
3.3.1	Mensuração dos vasos	19
3.3.2	Quantificação das fibras	21
3.3.3	Índices indicativos de qualidade	23
3.3.4	Análises Estatísticas	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Índices indicativos de qualidade em relação à morfologia das fibras	25
4.1.1	Índice de Enfeltramento (IE)	28
4.1.2	Coeficiente de Flexibilidade (CF)	28
4.1.3	Fração Parede (FP)	29
4.1.4	Índice de Runkel (IR)	30
4.1.5	Índice de Mulsteph e Índice de Boiler	30
4.2	Elementos de vasos	31
5	CONCLUSÕES	33
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores produtores mundiais de celulose (2008)	5
Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de papel (2008)	6
Tabela 3 – Dimensão das fibras	9
Tabela 4 – Dimensões das fibras da madeira de algumas espécies	10
Tabela 5 – Comportamento biométrico das fibras segundo o coeficiente de flexibilidade	14
Tabela 6 – Caracterização das fibras a partir das classes do Índice de Runkel	15
Tabela 7 – Valores médios da densidade básica para os dois clones de <i>Eucalyptus grandis</i>	18
Tabela 8 – Tratamentos utilizados no presente estudo	19
Tabela 9 – Parâmetros anatômicos avaliados e suas respectivas repetições	23
Tabela 10 – Expressões utilizadas no levantamento dos índices de qualidade	23
Tabela 11 – Valores dos índices de qualidade para o clone 1	26
Tabela 12 – Valores dos índices de qualidade para o clone 2	27
Tabela 13 – Valores médios dos diâmetros e frequências vasculares para madeira dos clones 1 e 2	31

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Locais de coleta dos materiais para o estudo. \_\_\_\_\_ 17
- Figura 2 - A-Local de retirada do corpo-de-prova no disco; B-Retirada dos cortes histológicos no micrótomo de deslize; C-Montagem de lâminas provisórias em glicerina; D-Fotomicrografias sendo produzidas. \_\_\_\_\_ 20
- Figura 3 - Mensuração do diâmetro dos vasos no plano transversal. \_\_\_\_\_ 21
- Figura 4 - A-Palatinhos imersos em solução macerante; B-Vidros contendo as lascas de madeira e a solução macerante sendo lacrados; C-Coloração das fibras já dissociadas com safranina. \_\_\_\_\_ 22
- Figura 5 - A-Mensuração do comprimento da fibra; B-Mensuração do diâmetro da fibra e do lume. \_\_\_\_\_ 22

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país privilegiado para o desenvolvimento das chamadas florestas comerciais. Este fato é decorrente das excelentes características edafoclimáticas aqui existentes. 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.

O aumento da demanda por produtos de qualidade com um diferencial para o mercado consumidor está se tornando uma dos quesitos principais das empresas florestais. Busca-se produzir florestas com incrementos cada vez maiores e em períodos menores de rotação e a qualidade do produto final, necessária à adequação da produção com a qualidade.

O uso de características anatômicas proporcionam índices confiáveis para estimar a qualidade das madeiras produzidas pelas empresas. No Estado do Espírito Santo, há um grande incentivo por parte da empresa produtora de celulose, na produção de florestas por produtores locais, caracterizando-se a atividade do fomento florestal.

Dessa maneira o presente estudo buscou conhecer a qualidade dessa matéria-prima com auxílio das características anatômicas da madeira, e inferindo sobre esta através de índices que são comumente utilizados para classificar qualidade no uso do setor papelero.

## 1.1 O problema e sua importância

O eucalipto vem suprindo a demanda das indústrias de celulose e papel de fibra curta, sendo considerado apto a atender praticamente todos os segmentos desse setor.

A utilização desta matéria-prima se deve aos grandes esforços e estudos da área de manejo, melhoramento e mais recentemente da tecnologia florestal brasileira.

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.

Esta indústria tem grande importância na economia mundial e brasileira, pois com ela, há 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.

As expectativas atuais são de aumento no consumo de papéis, o que deve refletir diretamente no aumento da produção. Esta expansão do setor trás consigo a responsabilidade de adequação às exigências do mercado consumidor. Dessa maneira, pode-se citar três aspectos importantes para a competitividade do setor: produção, produtividade e qualidade do produto, sendo este último o foco do presente estudo.

A qualidade da madeira para produção de celulose e papel pode ser mensurada através de diferentes características. Em se tratando da produção de papéis, são utilizados parâmetros relacionados às propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira, que são fundamentais na determinação dos padrões de qualidade. Este último é de grande importância, pois permite avaliar e diagnosticar o comportamento da madeira, uma vez que é sabido que as características anatômicas diferem de espécie para espécie, entre espécies e dentro de uma mesma árvore. Além disso, o crescimento de árvores em condições adversas de solo, topografia e clima poderá refletir na estrutura anatômica da madeira, por sua vez afetando sua adequação para a produção de papel.

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

## **1.2 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar as aplicações da madeira de eucalipto para produção de papel por meio de índices de qualidade.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

Levantar os índices de qualidade obtidos por parâmetros anatômicos;

Aplicar os índices em madeiras de eucalipto provenientes de regiões fomentadas dos Estados do Espírito Santo e Minas Gerais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Setor de Celulose e Papel no Brasil

O Brasil dispõe de grande vocação para produção de florestas econômicas, segundo dados do Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2009), o país conta com cerca de 6,5 milhões de hectares de florestas plantadas para atender a demanda dos setores de base florestal.

O setor de celulose e papel brasileiros são supridos por matérias-primas de várias espécies, principalmente, dos gêneros *Eucalyptus* (cerca de 2,4 milhões ha) e *Pinus* (314,4 mil ha). Desse total 70% e 76%, respectivamente, dessas florestas, são destinadas ao suprimento do setor de celulose e papel (ABRAF, 2009), sendo em sua maior parte localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país.

A grande utilização dessas espécies está relacionada a uma soma de fatores, como as condições de solo, topografia, recursos hídricos e clima, que em conjunto com capacidade tecnológica florestal, favorecem a produção de madeira em tempo e área de cultivo menores, resultando em rendimento maior a um menor custo por área.

#### 2.1.1 Celulose

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2008), em 2007, o setor de celulose e papel contribuiu significativamente nas exportações brasileiras. Dos US\$ 160,65 bilhões de receitas relativas às exportações, o setor participou com US\$ 4,7 bilhões. Já em 2008, de acordo com a Tabela 1, o Brasil saltou de 6º maior produtor mundial de celulose para 4º (BRACELPA, 2009), ficando atrás somente dos EUA, China e Canadá, o que torna o setor o mais importante no cenário florestal, com importância significativa na geração de empregos, rendas e impostos.

Tabela 1 – Maiores produtores mundiais de celulose (2008)

	País	Mil toneladas
1.	EUA	51.479
2.	China	21.477
3.	Canadá	20.299
<b>4.</b>	<b>Brasil</b>	12.697
5.	Suécia	12.071
6.	Finlândia	11.720
7.	Japão	10.670
8.	Rússia	7.430
9.	Indonésia	6.435
10.	Chile	4.985
11.	Índia	3.662
12.	Alemanha	2.902
	Demais	26.591
	Total Mundo	192.418

Fonte: RISI (citado por BRACELPA, 2010).

O Brasil está entre um dos maiores exportadores de celulose do mundo, cerca de 56% da produção nacional de pastas celulósicas são destinadas ao mercado externo, sendo 51,6% desse total exportada para países da Europa (BRACELPA, 2009), evidenciando que a produção de celulose no Brasil tem sido direcionada para o mercado internacional.

No território nacional, os maiores produtores de pasta são a Aracruz Celulose S.A., Suzano Papel e Celulose, Votorantin Celulose e Papel S.A., Klabin S.A. e CENIBRA, que participaram com, respectivamente, 24,5%, 16,7%, 11,8%, 11,8% e 9,1% em 2008. Juntas, foram responsáveis por 73,9% da produção nacional de celulose em 2008 (BRACELPA, 2009).

### 2.1.2 Papel

A indústria de papel brasileira ocupa hoje uma posição de destaque no contexto mundial. O Brasil assumiu, em 2008, o 11º lugar entre os maiores fabricantes de papel no mundo (Tabela 2), registrando ainda um aumento de 5% do consumo de papel, aumentando de 44,0 kg/hab para 46,2 kg/hab (BRACELPA, 2009). Este resultado é

fruto de uma indústria de papel diversificada, de tecnologia moderna e com grande potencial de crescimento, tanto para abastecer o mercado doméstico quanto para exportações.

Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de papel (2008)

	<b>País</b>	<b>Mil toneladas</b>
1.	EUA	79.952
2.	China	79.800
3.	Japão	30.617
4.	Alemanha	22.842
5.	Canadá	15.756
6.	Finlândia	13.126
7.	Suécia	11.663
8.	Coréia do Sul	10.610
9.	Itália	9.481
10.	França	9.418
<b>11.</b>	<b>Brasil</b>	<b>9.409</b>
12.	Indonésia	9.203
	Demais	89.035
	Total Mundo	390.912

Fonte: RISI. Adaptado por: BRACELPA (2010)

De acordo com a ABRAF (2009), dos produtos oriundos de florestas plantadas, a celulose e o papel com respectivamente 57,4% e 28,1%, foram os mais expressivos na pauta das exportações no ano de 2008. Dentre os principais importadores do papel brasileiro estão Argentina (21%), EUA (12%) e o Chile (7%).

No país a maior produção brasileira de papel está concentrada na região Sudeste com 50,9%, seguida da região Sul com 41,4% (BRACELPA, 2009). Ao contrário da produção de celulose que praticamente é destinada à exportação, a produção de papéis em sua maioria é designada ao mercado interno.

## 2.2 Matérias-primas para a produção de celulose

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 podemos citar as provenientes de frutos, cascas, folhas e caules. A título de exemplo, podemos citar algumas descritas por Andrade (2009): folha de bananeira (*Musa spp*) e Agave –usada na fabricação de cordas, barbantes grossos, redes de dormir, tapetes, entre outros; cânhamo (*Cannabis sativa*), Caroá – fibra usada na fabricação de capachos, bolsas etc; Rami ou Ramie (*Boehmeria nivea* e *Boehmeria tenacissima*), Linho (*Linum usitatissimum*), Cânhamo (*Cannabis sativa*), Kenaf (*Hibiscus cannabinus*), 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 papeleira.

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 setor celulósico-papeleiro.

No nordeste brasileiro o sisal é muito usado na fabricação de papéis com alta resistência (WASTOWSKI, 2009). Todavia, Andrade (2009) retrata o risco dos trabalhadores em algumas etapas do beneficiamento sisal, acarretando em grande número de indivíduos que perdem as mãos (“manetas”) na operação de despulpamento e desfibramento do sisal.

Apesar de serem fontes alternativas de fibras para a indústria, tais espécies não se enquadram nas características básicas para atender a todos o processo das indústrias

celulósicas-papeleiras. Além disso, não apresentam uma morfologia de fibra completa que atenda a tal setor, mesmo algumas podendo apresentar bons índices de resistência.

### **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.

A escolha da melhor espécie de madeira vai depender da característica desejável da fibra e conseqüentemente do tipo de papel a ser fabricado. No Brasil 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*, respectivamente.

### **2.3 A celulose de fibra curta**

A celulose de fibra curta é muito utilizada para fabricação de papéis de imprimir, escrever e sanitários (tissue), pois apresentam boas características para esses tipos de papéis. Dentre as espécies madeireiras produtoras de fibra curta, podem ser destacadas, às dos gêneros *Eucalyptus*, *Betula*, *Populus*, e *Acacia*.

A bétula (*Betula pendula*) é utilizada no Norte da Europa como matéria-prima para produção de polpa celulósica (BHAT et al 1981). Duarte (2007) trabalhando com algumas espécies de *Eucalyptus* e *Betula pendula*, encontrou resultados interessantes para estas fibras (Tabela 3).

Tabela 3 – Dimensão das fibras

Espécies	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> – 1 (6 anos – São Paulo-Brasil)	1,19	18,78	10,38	4,21
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> – 2 (5 anos – São Paulo- Brasil)	1,12	17,72	10,41	3,65
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> – 3 (5 anos – Bahia-Brasil)	1,14	17,81	10,44	3,69
<i>Betula pendula</i> (67 anos – Floresta natural da Finlândia)	1,38	24,76	15,20	4,78
<i>E. globulus</i> (12 anos – Portugal)	1,24	20,29	9,74	5,29

Fonte: Duarte (2007)

O *Populus*, também conhecido como Álamo, é muito usado na América do Norte para uma gama de produtos florestais, onde estão incluídos a celulose e papel. Seu uso neste setor é explicado, por apresentar uma excelente fonte de fibra curta, com qualidades desejáveis para o setor papelero. É uma espécie que apresenta rápido crescimento, com altura variando de 15 a 30 metros de comprimento (MACHADO, 2006).

Dentro do gênero *Acacia*, podemos destacar a espécie *Acacia mangium*, como mais uma fonte de fibra curta para indústria celulósica. De acordo com a Revista da Madeira – REMADE (2008) é uma espécie que apresenta usos múltiplos, como na fabricação de móveis, mourões, tábuas, portas, MDF, entre outros. Sua rusticidade e seu rápido crescimento aliado a excelente qualidade de sua madeira, a qualifica como ótima para a produção de celulose e papel.

Antunes (2009) avaliando madeiras de *Acacia*, *Populus* e *Eucalyptus* para a produção de celulose de fibra curta constatou diferenças acentuadas nas fibras de suas matérias-primas (Tabela 4).

Tabela 4 – Dimensões das fibras da madeira de algumas espécies

<b>Espécies</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Diâmetro do lume (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espessura da parede (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>Acacia crassicarpa</i> (6 anos – Indonésia)	1,05	17,1	12,0	2,6
<i>Acacia mangium</i> (6 anos – Indonésia)	1,01	16,0	9,6	3,2
<i>Populus tremuloides</i> (55 anos – Floresta natural do Canadá)	1,09	26,6	18,6	4,0
<i>Eucalyptus nitens</i> (12 anos – Chile)	0,94	21,6	14,1	3,7
<i>Eucalyptus globulus</i> (12 anos – Chile)	0,88	21,3	10,8	5,1

Fonte: Antunes (2009).

Nas Tabelas 3 e 4, pode-se observar o *Eucalyptus globulus* destacando-se com os maiores valores para a espessura de parede. Entretanto, esta espécie crescendo em Portugal apresentou maiores comprimentos de fibras em comparação a que cresceu no Chile. Este fato pode ser explicado pelo ambiente, onde em condições tropicais temos um crescimento mais acentuado das árvores se comparado com os países europeus.

### 2.3.1 O eucalipto como matéria-prima para produção de celulose (papel)

Segundo SUZANO (2009) a fibra de eucalipto é tida como superior às demais fibras do mercado, pois apresenta maior consistência e uniformidade, e porque ela pode melhorar a opacidade, formação e capacidade de impressão do papel. Além disso, a celulose de eucalipto tem grande aceitação entre os produtores de papéis para imprimir e escrever e de papéis sanitários na Europa, Ásia e na América do Norte devido às suas excelentes propriedades.

Graças às vantagens comparativas, o Brasil consagrou-se mundialmente como o maior produtor de fibra curta de eucalipto. Tal destaque deve-se aos estudos e pesquisas na área de melhoramento florestal, que permitiram o uso de algumas espécies de *Eucalyptus* aptas ao plantio comercial.

As árvores de eucalipto apresentam excelentes aspectos silviculturais, pois em geral, possuem excelente crescimento, são de fácil plantio e apresentam baixa

necessidade de poda, pois crescem de maneira retilínea e necessitam de pouco espaçamento em comparação às demais árvores de fibra curta (SUZANO, 2009). Todas essas qualidades aliadas às condições edafoclimáticas do território brasileiro, permitem seu rápido desenvolvimento e a obtenção de uma madeira excepcional, o tornam apto para a produção de celulose.

Foelkel (2009) destaca que o eucalipto consegue atender as mais diversas especificações na fabricação de papéis de fibra curta, como a formação da folha, a opacidade, a lisura, maciez, e entre outras. A celulose de eucalipto é utilizada para fabricação de papéis finos, como guardanapo, papel toalha, papel higiênico, papéis para imprimir e escrever entre outros.

#### **2.4 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) afirmam que a madeira de eucalipto possui um composição fibrosa variando em 65%.

De acordo com Santos (2005) propriedades do papel como resistência ao rasgo e resistência a dobras são afetados 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.

#### **2.5 Características anatômicas e seu efeito sobre as propriedades do papel**

Para a fabricação de papel são preferidas matérias-primas em que a maior parte de sua constituição seja fibrosa. Quando este fato 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, uma vez que no

processo industrial, esse tecido torna-se os “finos” do processo, causando o entupimento de telas e feltros.

Outras características anatômicas da madeira que apresenta influência na qualidade final do papel são teores e dimensões dos vasos. De acordo com este autor, vasos grandes e abundantes não são indicados na fabricação de papéis de imprimir e escrever.

De acordo ainda com Foelkel (2007) vasos grandes, apesar de ajudar no processo de impregnação dos cavacos, pode provocar um defeito conhecido como arrebatamento ou arrepelamento de vasos (“vessel pincking”), quando são usados na fabricação de papéis para impressão.

Para a fabricação de papéis de imprimir e escrever, são desejadas algumas propriedades a cerca de sua qualidade, como lisura, opacidade, formação, porosidade, resistência, estabilidade dimensional, e outras. Tais atributos podem ser conseguidos com numerosas fibras curtas e estreitas, com relativa rigidez, capazes de se manter unidas sem colapsar e baixo teor de elementos de vasos (FOELKEL, s.d.).

Este mesmo autor afirma que para papéis sanitários (tissue), são buscadas as propriedades de maciez, absorção, resistência e baixo teor de finos. Para tal é necessário o emprego de fibras rígidas e com baixo grau de colapsamento e baixa ligação entre as fibras, mantendo uma rede frouxa e porosa.

### **2.5.1 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 anatômicas 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 anatômicos 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, citado por 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 lume e espessura de parede), pode-se estabelecer o comportamento e a capacidade papelreira de uma determinada fibra (BALDI, 2001, citado por NISGOSKI, 2005).

#### *2.5.1.1 Índice de Enfeltramento*

É dado pela relação entre o comprimento (C) e o diâmetro da fibra (L), ou seja,  $IE = \frac{C}{L}$ . Este índice indica o quanto a fibra é afilada. Para o eucalipto o índice de enfeltramento 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, p.29, citado por NISGOSKI, 2005).

#### *2.5.1.2 Coeficiente de Flexibilidade*

É dado pela relação entre diâmetro do lume (DL) e o diâmetro da fibra (L):  $CF = \frac{DL}{L} \times 100$ . Segundo Foelkel (1978), este índice indica a capacidade da fibra em fazer ligações entre elas. Este autor relata 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 tração. Entretanto, ocorre a diminuição do resistência a rasgo e opacidade.

Critérios desenvolvidos para a classificação desse coeficiente são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Comportamento biométrico das fibras segundo o coeficiente de flexibilidade

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

Fonte: Iastas et al. Citado por Blanco Rojas, adaptado por Nisgoski, 2005.

### 2.5.1.3 Fração Parede

A fração parede é expressa pela seguinte relação:  $FP = \frac{2 \times E}{L} \times 100$ , onde E refere-se a espessura da parede e L o diâmetro 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 fração 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 fração parede acima de 40% para certo material fibroso, não é apropriado para a produção de celulose, pois algumas propriedades, como resistência a tração e ao arrebentamento são prejudicados pela dificuldade de ligações entre as fibras.

### 2.5.1.4 Índice de Runkel

É dado pela expressão:  $IR = \frac{2 \times E}{DL}$ , onde E representa a espessura da parede da fibra e DL o diâmetro do lume. Os valores do índice de Runkel podem indicar o quanto a fibra é flexível, fornecendo uma idéia da capacidade das fibras se unirem, havendo uma relação nas propriedades de resistência ao arrebentamento e tração das folhas de papel (Baldi, 2001 p.29, citado por Nisgoski, 2005).

Foelkel (1978) sugere que para valores maiores que 1,5, é desaconselhável para a produção de papel, uma vez que a fibra apresenta-se muito rígida, diminuindo sua capacidade de inter-ligação.

A Tabela 6 apresenta algumas características para os valores dos Índices de Runkel.

Tabela 6 – Caracterização das fibras a partir das classes do Índice de Runkel

Índice de Runkel	Grupo	Características das Fibras
≤ 0,25	I	A fibra é muito flexível, macia, apresentando a capacidade de acomodar-se facilmente. Tal fato representa a condição ótima para a fabricação de papel. O valor da relação indica que o lume 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 lume.
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 seção do lume.
>1	IV	O valor da relação indica 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.

Fonte: Caumo (2003), citado por Nisgoski (2005).

#### 2.5.1.5 Índice de Mulsteph

É dado pela seguinte relação:  $IM = \frac{L^2 - DL^2}{L^2}$ , onde L representa o diâmetro da fibra e DL o diâmetro do lume. Por este índice as fibras são agrupadas pela possibilidade de colapso e por resultar na formação de folhas de alta ou baixa densidade. Nesta classificação, a qualidade da folha é baseada na área relativa da parede da célula em relação a toda fibra (Mulsteph, 1940a; 1940b; 1941, citado por Nisgoski, 2005).

### 2.5.1.6 *Índice de Boiler*

É dado pela relação entre a diferença dos quadrados do diâmetro da fibra (L) e o diâmetro do lume (DL), pela soma destes mesmos diâmetros: 
$$IB = \frac{L^2 - DL^2}{L^2 + DL^2}$$

### 2.5.1.7 *Frequência e Dimensão dos Vasos*

Os elementos de vasos são muito importantes no processo de polpação, pois eles ajudam no processo de impregnação dos cavacos pelo licor, sendo muito importante que estes não estejam obstruídos por tilos, gomas, resinas ou ainda óleo-resinas (BUGER e RICHTER, 1991).

Na qualidade da madeira para a produção de papel, Foelkel (1978) afirma que vasos grandes e abundantes não são desejáveis na fabricação de papéis de imprimir e escrever. Tal fato pode ser explicado pelo defeito conhecido como “vessel pincking”. Entretanto, para papéis tissue os vasos não são causadores de problemas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

Para quantificação dos índices de qualidade da madeira para a produção de papel, foram utilizadas árvores que cresceram em quatro regiões do Estado do Espírito Santo e em duas do Estado de Minas Gerais. O material genético é procedente de dois clones (1 e 2), constituídos de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* originados da localidade de Rio Claro, no Estado de São Paulo. As árvores do estudo possuíam idade de 69 meses.

A madeira desses plantios são provenientes de contratos de fomento florestal da empresa Fibria, a qual é consumidora desta matéria-prima para produção de celulose no Estado do Espírito Santo, que é destinada a produção de papéis de imprimir, escrever e papéis absorventes (tissue). A Figura 1 representa as localidades fomentadas, onde foram coletas as madeiras para o estudo.

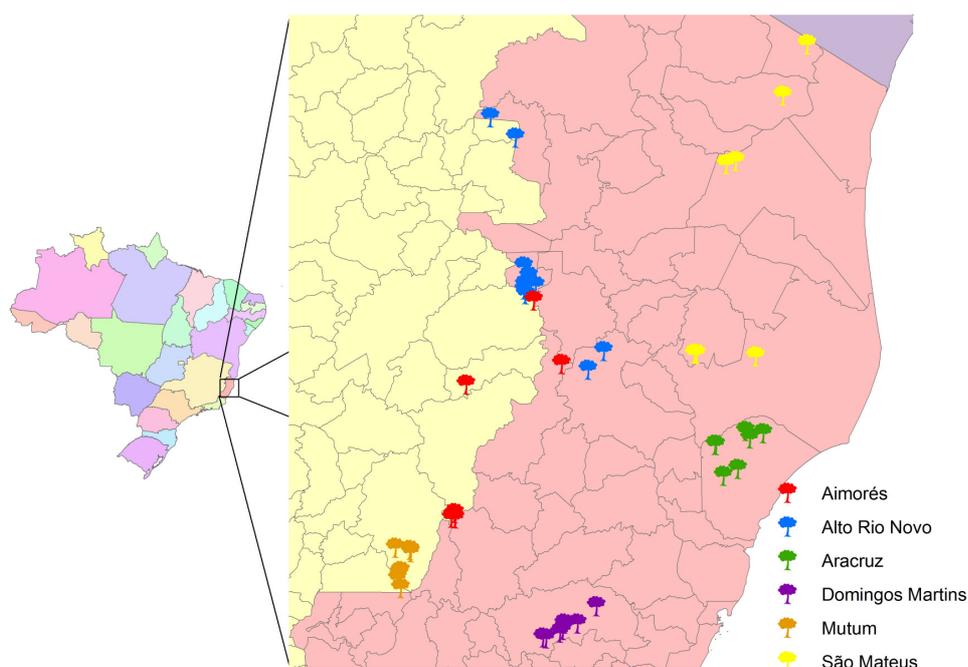


Figura 1 – Locais de coleta dos materiais para o estudo.

A Tabela 7 apresenta a média da densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) da madeira do estudo.

Tabela 7 – Valores médios da densidade básica para os dois clones de *Eucalyptus grandis*

Região	Clone	Densidade Básica ( $\text{g/cm}^3$ )
Aracruz	1	<b>0,53</b> (0,03) (5,41)*
	2	<b>0,49</b> (0,03) (5,41)
Domingos Martins	1	<b>0,51</b> (0,04) (8,07)
	2	<b>0,46</b> (0,02) (5,39)
São Mateus	1	<b>0,50</b> (0,05) (9,26)
	2	<b>0,48</b> (0,02) (4,63)
Mutun	1	<b>0,52</b> (0,03) (5,68)
	2	<b>0,46</b> (0,03) (6,84)
Aimorés	1	<b>0,55</b> (0,06) (11,16)
	2	<b>0,47</b> (0,03) (5,97)
Alto Rio Novo	1	<b>0,52</b> (0,03) (5,71)
	2	<b>0,49</b> (0,04) (8,48)

\*Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão e o coeficiente de variação, respectivamente.

### 3.2 Amostragem

Para cada um dos doze tratamentos foram utilizadas as quantidades de árvores descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Tratamentos utilizados no presente estudo

Tratamento	Clone	Região	Nº Árvores
1	1	Aracruz – ES	24
2	2	Aracruz – ES	24
3	1	Domingos Martins – ES	24
4	2	Domingos Martins – ES	24
5	1	Mutun – MG	24
6	2	Mutun – MG	24
7	1	São Mateus – ES	18
8	2	São Mateus – ES	24
9	1	Aimorés – MG	24
10	2	Aimorés – MG	24
11	1	Alto Rio Novo – ES	24
12	2	Alto Rio Novo – ES	36
Total			294

Foram retiradas amostras de cada árvore na altura do DAP, na forma de discos com 5cm de espessura, com um total de 294 discos. A partir dos discos foram retirados pequenos corpos-de-prova na região do cerne periférico (Figura 2) com dimensões de 1,0 x 1,5 x 2,0 cm, nas direções radiais, tangenciais e longitudinais, respectivamente, para as mensurações anatômicas.

### 3.3 Metodologia

Os estudos da quantificação dos parâmetros anatômicos foram realizados no Laboratório de Ciência da Madeira (LCM) do Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (DEF/CCA/UFES) e está contida em Oliveira (2009).

#### 3.3.1 Mensuração dos vasos

Após a retirada dos blocos de madeira, ilustrados na Figura 2, os mesmos foram amolecidos após serem fervidos em água e fixados em micrótomo de deslize, modelo Leica SM 2000R, para a obtenção de cortes anatômicos de espessura variando de 18 a 20µm do plano transversal, sendo em seguida montados em lâminas temporárias, com uso de glicerina e água. A Figura 2 ilustra a sequência dos trabalhos no laboratório.

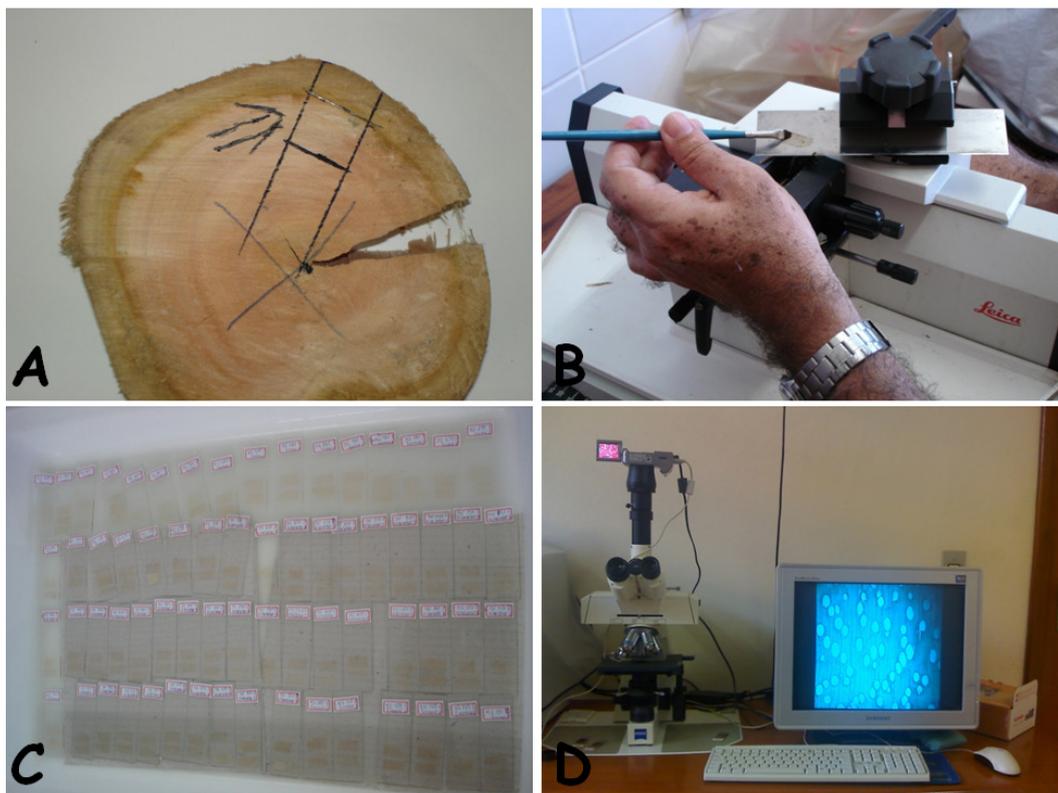


Figura 2 - A-Local de retirada do corpo-de-prova no disco; B-Retirada dos cortes histológicos no micrótomo de deslize; C-Montagem de lâminas provisórias em glicerina; D-Fotomicrografias sendo produzidas.

De posse das lâminas foram realizadas fotomicrografias com o auxílio de uma câmera fotográfica de marca Canon, modelo DSC Powershot A 620, 7.1 mega pixels. Os parâmetros mensurados nas fotos foram a frequência vascular em poros/mm<sup>2</sup> e o diâmetro tangencial em micrômetro. A Figura 3 ilustra a mensuração do diâmetro dos vasos, com auxílio do software analisador de imagem, Axiovision 4.5.

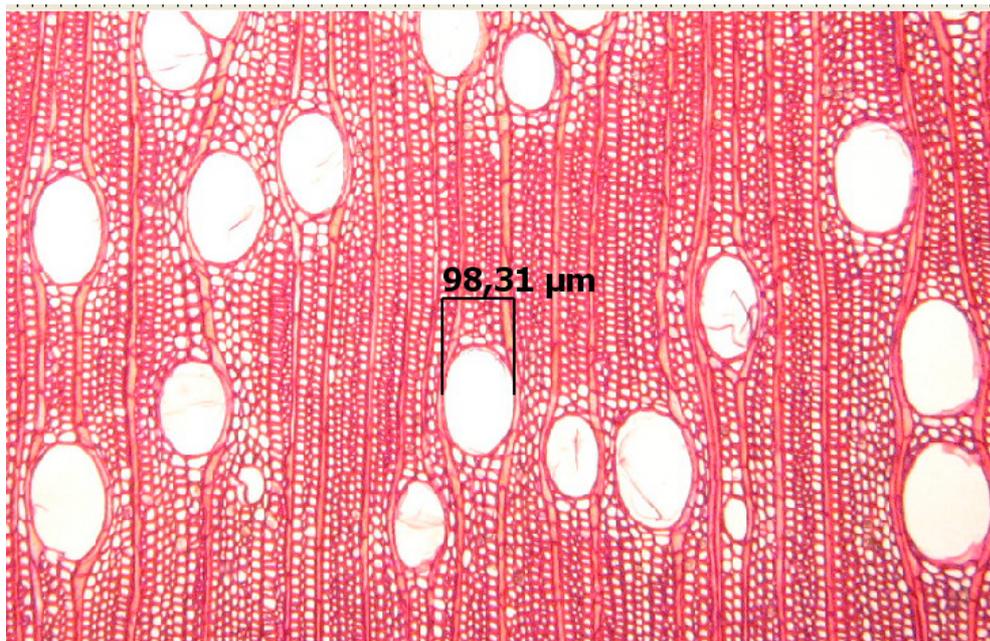


Figura 3 - Mensuração do diâmetro dos vasos no plano transversal.

### 3.3.2 Quantificação das fibras

Para mensuração das fibras, foi produzida solução macerante para dissociação das fibras, segundo metodologia proposta por Nicholls e Dadswel, descrito por (RAMALHO, 1987). Para tal adotou-se a seguinte sequência em laboratório:

- Preparo dos palitinhos de madeira;
- Transferência destas finas lascas para tubos contendo solução macerante;
- Transferência dos tubos lacrados para estufa a 60°C por 48 horas;
- Lavagem da solução com água corrente;
- Coloração do material com o corante safranina;
- Montagem das lâminas em glicerina para retirada das fotomicrografias.

A Figura 4 ilustra algumas etapas descritas acima.

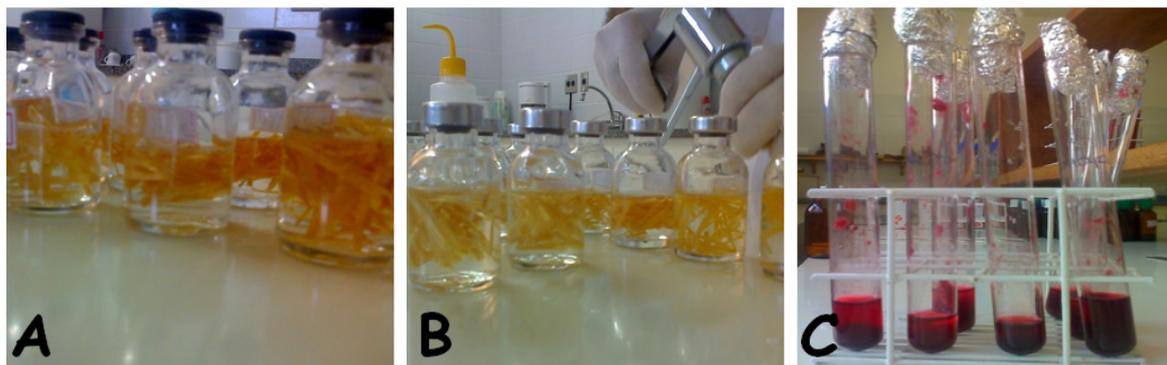


Figura 4 - A-Palatinhos imersos em solução macerante; B-Vidros contendo as lascas de madeira e a solução macerante sendo lacrados; C-Coloração das fibras já dissociadas com safranina.

Após a realização das fotomicrografias, estas serão medidas pelo mesmo software analisador de imagens descrito no item 3.1. A Figura 5 elucida como foram realizadas as medições das fibras.

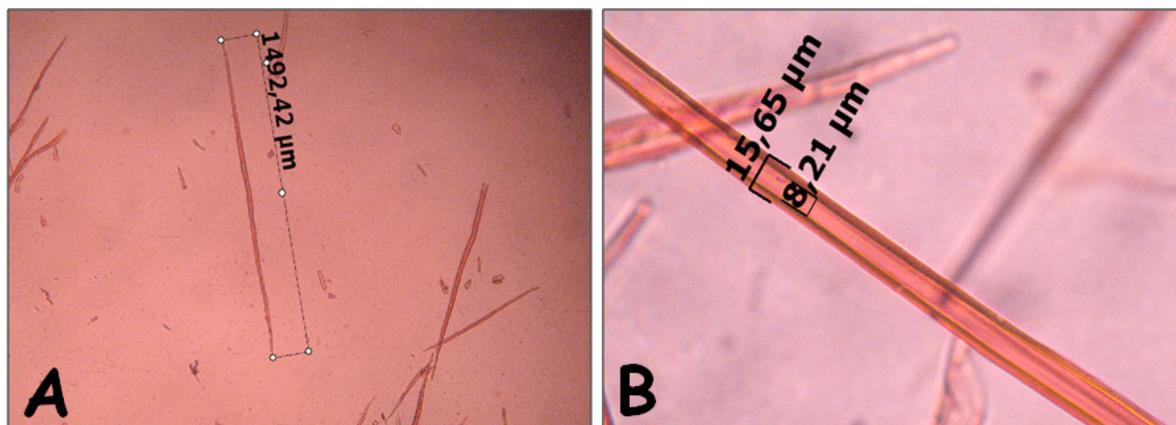


Figura 5 - A-Mensuração do comprimento da fibra; B-Mensuração do diâmetro da fibra e do lume.

A Tabela 9 apresenta os parâmetros anatômicos avaliados e suas respectivas repetições.

Tabela 9 – Parâmetros anatômicos avaliados e suas respectivas repetições

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Parâmetros Mensurados</b>	<b>Repetições</b>
Vasos	Diâmetro Tangencial ( $\mu\text{m}$ )	40
	Frequência ( $n^\circ$ vasos/ $\text{mm}^2$ )	40
Fibras	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	20
	Largura ( $\mu\text{m}$ )	20
	Diâmetro do Lume ( $\mu\text{m}$ )	20
	Espessura da Parede ( $\mu\text{m}$ )	20

Todos os parâmetros foram medidos diretamente, com exceção da espessura de parede, que foi calculada pela seguinte relação:  $E_p = \frac{L - DL}{2}$ , onde L representa o diâmetro da fibra e DL o diâmetro do lume.

### 3.3.3 Índices indicativos de qualidade

A Tabela 10 lista as expressões usadas no levantamento dos índices de qualidade a partir dos parâmetros anatômicos das fibras.

Tabela 10 – Expressões utilizadas no levantamento dos índices de qualidade

<b>Nome</b>	<b>Expressões</b>
Índice de Enfeltramento (IE)	$\frac{C}{L}$
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	$\frac{DL}{L} \times 100$
Fração Parede (FP)	$\frac{2 \times E}{L} \times 100$
Índice de Runkel (IR)	$\frac{2 \times E}{DL}$
Índice de Mulsteph (IM)	$\frac{L^2 - DL^2}{L^2}$
Índice de Boiler (IB)	$\frac{L^2 - DL^2}{L^2 + DL^2}$

Onde:

C = Comprimento da fibra

L = Largura da fibra

DL = Diâmetro do lume

E = Espessura de Parede

DL = Diâmetro do lume

Com os parâmetros anatômicos obtidos através dos vasos, foram feitas correlações com a frequência e diâmetro dos vasos e sua importância para a fabricação de papel.

### **3.3.4 Análises Estatísticas**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 24 repetições para os tratamentos 1,2,3,4,5,6,8,9,10 e 11, 18 repetições para o tratamento 7 e 36 repetições para o tratamento 12, de acordo com o descrito na Tabela 7. Os dados foram tabulados em planilhas do software Excel 2007 e analisados segundo cálculos estatísticos descritivos como média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Para avaliar o grau de significância dos índices calculados, foi realizada a análise de variância com teste F a 5% de significância, e uma vez significativa, aplicou-se o teste Tukey a 5% de significância para comparação de médias, com ajuda do software SAEG 6.0.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Índices indicativos de qualidade em relação à morfologia das fibras**

Os índices indicativos de qualidade da madeira para polpa celulósica são fornecidos pelas relações entre as dimensões das fibras.

Na Tabela 11 estão os valores encontrados para o clone 1 dentro das seis regiões estudadas.

Na Tabela 12 estão os valores encontrados para o clone 2 dentro das seis regiões estudadas.

A partir dos valores dispostos nas Tabelas 11 e 12, observou-se, no geral, possíveis tendências comparando os índices indicativos de qualidade da polpa. Para os dois clones foi observado que a região de Aracruz obteve os maiores índices de Enfeltramento, Coeficientes de Flexibilidade e menores valores de Fração Parede e Índice de Runkel, sendo esta região a que, possivelmente, fornecerá papéis com maiores valores de resistência a tração.

Tabela 11 – Valores dos índices de qualidade para o clone 1

<b>Região</b>	<b>IE*</b>	<b>CF (%)</b>	<b>FP (%)</b>	<b>IR</b>	<b>IM</b>	<b>IB</b>
Aracruz	59,28 A (14,20) (23,95) **	64,50 A (10,50) (16,26)	35,50 C (10,50) (29,55)	0,60 C (0,32) (53,57)	0,57 C (0,13) (22,64)	0,41 C (0,13) (32,15)
Domingos Martins	49,97 C (11,96) (23,95)	58,04 C (11,20) (19,29)	41,95 A (11,19) (26,69)	0,80 A (0,48) (59,95)	0,65 A (0,12) (19,33)	0,49A (0,14) (28,29)
Mutun	51,40 C (11,52) (22,42)	60,45 B (8,32) (13,75)	39,62 B (8,48) (21,40)	0,69 B (0,24) (36,15)	0,63 B (0,10) (16,06)	0,46 B (0,11) (22,87)
São Mateus	58,43 A (14,98) (25,64)	60,00 B (9,09) (15,14)	39,99 B (9,09) (22,73)	0,70 B (0,29) (40,46)	0,63 AB (0,11) (17,27)	0,47 AB (0,11) (24,59)
Aimorés	53,62 AB (10,91) (20,34)	62,25 B (9,15) (14,70)	37,74 B (9,15) (24,25)	0,64 B (0,27) (42,18)	0,60 B (0,11) (18,61)	0,44 B (0,12) (26,40)
Alto Rio Novo	52,02 BC (10,30) (19,81)	60,18 B (9,19) (15,26)	39,82 B (9,18) (23,07)	0,70 B (0,31) (43,30)	0,63 AB (0,11) (17,10)	0,46 AB (0,12) (24,98)

\*Para IE: Índice de Enfilramento; CF: Coeficiente de Flexibilidade; FP: Fração Parede; IR: Índice de Runkel; IM: Índice de Mulsteph; IB: Índice de Boiler.

\*\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

\*\*\*Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão e o coeficiente de variação, respectivamente.

Tabela 12 – Valores dos índices de qualidade para o clone 2

Região	IE*	CF (%)	FP (%)	IR	IM	IB
Aracruz	67,44 A**	58,85 A	41,15 D	0,78 C	0,64 C	0,48 D
	(17,06) (25,30)***	(11,52) (19,57)	(11,51) (27,99)	(0,41) (53,45)	(0,13) (20,70)	(0,15) (30,04)
Domingos Martins	60,51 D	49,26 CD	50,74 AB	1,21 A	0,74 AB	0,60 AB
	(14,83) (24,51)	(12,60) (25,58)	(12,60) (24,83)	(0,79) (65,50)	(0,12) (16,59)	(0,15) (25,37)
Mutun	61,29 CD	51,28 BC	48,72 BC	1,03 B	0,72 B	0,58 BC
	(15,74) (25,68)	(9,86) (19,22)	(9,86) (20,24)	(0,46) (44,96)	(0,1) (13,77)	(0,12) (21,18)
São Mateus	60,58 D	57,38 A	42,61 D	0,80 C	0,66 C	0,50 D
	(13,46) (22,22)	(9,72) (16,93)	(9,72) (22,80)	(0,36) (45,44)	(0,11) (16,53)	(0,12) (24,48)
Aimorés	64,09B	48,42 D	51,58 A	1,28 A	0,74 A	0,61 A
	(15,21) (23,74)	(12,77) (26,38)	(12,77) (24,76)	(1,05) (81,78)	(0,12) (16,05)	(0,15) (25,02)
Alto Rio Novo	63,38BC	51,31 B	48,68 C	1,04 B	0,72 B	0,58 C
	(14,85) (23,43)	(10,25) (19,98)	(10,25) (21,06)	(0,48) (46,23)	(0,10) (14,56)	(0,13) (22,04)

\*Para IE: Índice de Enfeltramento; CF: Coeficiente de Flexibilidade; FP: Fração Parede; IR: Índice de Runkel; IM: Índice de Mulsteph; IB: Índice de Boiler.

\*\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

\*\*\*Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão e o coeficiente de variação, respectivamente.

#### **4.1.1 Índice de Enfeltramento (IE)**

Para este índice, quanto maiores forem seus valores, melhor será a formação da folha, havendo grande relação com resistência ao rasgo e formação de dobras (Baldi, 2001, citado por NISGOSKI, 2005). Valores mais altos indicam maior flexibilidade, pois no geral serão fibras mais compridas.

Os valores médios do IE variaram de 51,40 a 59,28 para o clone 1 e de 60,51 a 67,44 para o clone 2, com destaque para o clone 2 apresentando os maiores intervalos das médias das seis regiões. Estes valores estão acima dos reportados para eucalipto (40 a 50), descrito em Foelkel (1978).

Para os clones 1 e 2 a região de Aracruz sobressai, apresentando as maiores médias de Índice de Enfeltramento (59,28 e 67,44, respectivamente), sendo ainda considerada como o melhor local para celulose destinada a produção de papéis de imprimir e escrever. De acordo com Foelkel, (s.d.), para tais papéis são desejáveis boa formação da folha e resistência.

#### **4.1.2 Coeficiente de Flexibilidade (CF)**

O coeficiente de flexibilidade indica a capacidade da fibra em fazer ligações na população fibrosa. Foelkel (1978) evidencia 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 tração. Por outro lado, ocorre a diminuição da resistência a rasgo e opacidade.

Para que ocorra uma boa interligação entre as fibras, é ideal que seus valores sejam acima de 50%. Para o presente estudo encontrou-se valores médios de CF variando de 58,04% a 64,50% para o clone 1 e de 48,42% a 58,85% para o clone 2.

Todas as regiões são consideradas aptas a produzirem papéis de imprimir e escrever, pois tal coeficiente estando entre 75-50 significa que as fibras terão um colapso parcial, boa superfície de contato e boa união entre as fibras.

Já a região de Aimorés em Minas Gerais para o clone 2, obteve um valor de CF de 48,42%, sendo menor que 50%, logo suas fibras terão características de pouco colapso, pouca superfície de contato e pouca união fibra-fibra, apresentando-se como uma região apta a fabricação de papéis tissue (absorventes). Segundo Foelkel (1978), para este tipo de papel, requere-se baixa ligação entre as fibras e que a população fibrosa forme uma rede frouxa e porosa.

Segundo informações da empresa, a região de Aimorés no Estado de Minas Gerais, está nos planos de expansão dos plantios. Os resultados indicam que deverão ser avaliadas outras possibilidades de material genético para esta condição.

Mauri (2010), estudando dois clones do híbrido *Eucalyptus urograndis* em Minas Gerais achou valores médios de Coeficiente de Flexibilidade variando de 55,72 a 57,33% para o clone A e de 54,28 a 54,65% para o clone B, estando condizente com os mesmos resultados encontrados nesse trabalho.

#### **4.1.3 Fração Parede (FP)**

A fração parede esta associada a facilidade de colapso e flexibilidade para ligação das fibras. Valores de FP acima de 60% não são muito interessantes, pois as fibras são classificadas como muito rígidas, dificultando a ligação fibra-fibra (Foelkel, 1978).

Com base na Fração Parede obtida nas seis regiões de estudo, encontrou-se valores variando de 35,50% a 41,95 para o clone 1 e de 41,15% a 51,58 para o clone 2. Os valores mais altos são considerados ideais para papéis absorvente, uma vez que seus maiores valores indicam que a um afrouxamento da rede fibrosa e uma baixa ligação entre as fibras. Para tal destaca-se as regiões de Domingos Martins para o clone 1 e a região de Aimorés para o Clone 2.

Para papéis de imprimir e escrever são ideais valores menores de FP, uma vez que sendo menores estes valores, maior será o esticamento destas fibras, sendo mais flexíveis e por consequência se interligarem com mais facilidade (WATSON;

DASDWEL, 1961, citado por NISGOSKI, 2005). Neste caso, destaca-se a região de Aracruz para os dois clones.

#### 4.1.4 Índice de Runkel (IR)

O Índice de Runkel fornece idéia do quanto a fibra é flexível, indicando a capacidade das fibras se unirem (BALDI, 2001, citado por NISGOSKI, 2005). O IR é classificado nas seguintes grupos:

- I:  $\leq 0,25$
- II: 0,25 – 0,5
- III: 0,5 – 1,0
- IV e V:  $>1$

sendo os dois primeiros os mais interessantes para fabricação de papéis de imprimir e escrever, uma vez que com estes valores consegue-se através da flexibilidade uma maior união das fibras e uma maior acomodação na formação da folha de papel.

Entretanto, valores muito altos próximos ou maiores que 1 são mais indicados para produção de papéis absorvente, pois a medida que este valor aumenta, o diâmetro do lume diminui e as paredes se tornam espessas, o que aumenta a capacidade de absorção do papel.

Para o presente estudo, encontrou-se valores médios de Índice de Runkel para as seis regiões que variam de 0,60 a 0,80 para o clone 1 e de 0,78 a 1,28 para o clone 2. Os dois clones apresentaram, no geral, valores considerados altos para produção de papéis de imprimir e escrever, sendo a região de Aracruz, por apresentar menores valores, a mais apta para os dois clones. Sendo o clone 1 o de maior destaque.

Mauri (2010), estudando dois clones do híbrido *Eucalyptus urograndis*, no Estado de Minas Gerais, encontrou valores médios de Índice de Runkel de 0,69 e 0,71.

#### 4.1.5 Índice de Mulsteph e Índice de Boiler

O Índice de Mulsteph variou de 0,57 a 0,65 (Aracruz e Domingos Martins, respectivamente) para o clone 1 e de 0,64 a 0,74 (Aracruz e Aimorés, respectivamente) para o clone 2. Sendo verificada diferença estatística entre as regiões dentro dos dois clones.

Para o índice de Boiler houve uma variação de 0,41 a 0,49 (Aracruz e Domingos Martins, respectivamente) para o clone 1 e variou de 0,48 a 0,61 (Aracruz e Aimorés, respectivamente) para o clone 2.

## 4.2 Elementos de vasos

A Tabela 13 apresenta os valores médios dos diâmetros e frequência dos vasos para os dois clones de *Eucalyptus grandis* nas seis regiões do estudo.

Tabela 13 – Valores médios dos diâmetros e frequências vasculares para madeira dos clones 1 e 2

Regiões	Clone 1		Clone 2	
	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	Frequência (vasos/ $\text{mm}^2$ )	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	Frequência (vasos/ $\text{mm}^2$ )
Aracruz –ES	95,47 c B* (18,05) (18,91)**	14,32 b A (4,39) (30,67)	129,45 c A (18,79) (14,52)	11,06 b B (5,17) (46,24)
Domingos Martins –ES	103,23 ab B (22,35) (21,65)	13,43 cd A (3,66) (27,23)	129,68 c A (34,52) (26,62)	10,41 c B (3,34) (31,13)
Mutum –MG	103,46 a B (21,52) (20,80)	13,68 c A (3,73) (27,31)	126,10 c A (25,68) (20,37)	9,95 cd B (3,37) (33,86)
São Mateus –ES	91,59 d B (14,57) (16,35)	16,00 a A (3,93) (24,54)	111,99 d A (20,96) (18,72)	13,00 a B (3,89) (29,90)
Aimorés – ES	100,69 b B (17,89) (17,76)	13,06 d A (3,54) (27,13)	142,25 a A (44,77) (31,47)	9,67 d B (2,71) (28,05)
Alto Rio Novo –ES	100,79 b B (23,23) (23,05)	14,32 b A (4,01) (28,04)	137,91 b A (18,79) (13,33)	11,10 b B (3,56) (32,13)

\*\*Os valores médios ao longo das colunas, seguidas de mesma letra minúscula e ao longo das linhas, para o mesmo parâmetro, seguidos de mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

\*\*Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão e o coeficiente de variação, respectivamente.

Segundo Foelkel (2007), os vasos são muito importantes tanto para a fisiologia e crescimento das árvores, como para os processos de conversão da madeira em celulose. Sua presença nas madeiras de folhosas favorece o processo de impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento. Como são elementos grandes e ôcos em sua maioria, eles facilitam a passagem do licor para o interior dos cavacos. Além disso, a

comunicação dos vasos com as células adjacentes, através das pontoações, permite que o licor de cozimento migre para o interior dos cavacos (MAURI, 2010).

De acordo com a Tabela 13, de modo geral o clone 1 possui vasos de menores diâmetros, com maiores frequências em relação ao clone 2. Tais valores destacam o clone 2 com diâmetros de vasos maiores.

Em relação ao defeito conhecido como “vessel pinking” este ocorre principalmente pela presença de vasos de grandes diâmetros e muito freqüentes. Entretanto, este já não é mais um grande problema para as empresas, uma vez que papéis fabricados com polpas bem refinadas, praticamente não apresentam problemas devido a presença dos vasos, isso ocorre principalmente devido ao colapso ou fragmentação desses elementos (FOELKEL, 2007).

## 5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as características anatômicas podem fornecer de antemão o conhecimento da matéria-prima a ser utilizada. Conhecer as dimensões fundamentais dos elementos de vasos e principalmente das fibras e suas relações, são importantes em programas de melhoramento visando a seleção de clones que atendam as exigências de um determinado produto, bem como na escolha de uma determinada matéria-prima.

Em linhas gerais os dois clones apresentaram seus índices dentro do esperado para a madeira de eucalipto, sendo as exceções possivelmente explicadas pelo fator ambiental. Os dois clones também apresentaram diferenças significativas nas seis regiões do estudo.

O dois clones obtiveram maiores médias na região de Aracruz em se tratando do Índice de Enfeltramento e Coeficiente de Flexibilidade, tendo reflexo nos menores valores para Fração Parede e Índice de Runkel.

Em relação ao Índice de Runkel, Domingos Martins obteve as maiores médias para os dois clones. Já para os Índices de Mulsteph e Boiler, as maiores médias para o clone 1 foi na região de Aimorés enquanto para o clone 2 foi na região de Domingos Martins.

Para os teores de vasos, não foram encontrados problemas nos seus valores médios, mesmo havendo uma relação indireta para diâmetro de vasos e sua frequência, pois quando estes são muito frequentes seus diâmetros tendem a ser menores.

Vale ressaltar a importância dos cozimentos para posterior avaliação das propriedades físico-mecânicas do papel. Essa é uma importante etapa, pois conseguirá adequar os parâmetros anatômicos à qualidade final do produto, o papel.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. **Tecnologia na produção de celulose e papel.** In: JESUS JUNIOR et al (ORG.). *Qualidade na Produção Agropecuária.* Alegre-ES. 2009. p.121-141.

ANTUNES, F.S. **Avaliação da qualidade da madeira de *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloide*.** 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Relatório Anual 2009: baseado (2008/2009).** Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: 16 abril de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA: **Setor de celulose e papel: março 2010,** Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?q=http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf&sa=X&ei=4KvuS6T9CJCluAe32tWWBg&ved=0CBgQzgQoADAA&usg=AFQjCNFGUOdKS-47vy0kbieE3EttcAcJXQ>>. Acesso em: 05 de maio de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF:** ano base 2008, Brasília, p.120, 2009.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft.** 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

FOELKEL, C. E. B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim informativo.** I Congresso brasileiro sobre qualidade da madeira. São Paulo, 25f. nov. 1978. Disponível em: <[http://www.celso-oelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto\\_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf](http://www.celso-oelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf)>. Acesso em: 10 abr.2010.

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

FOELKEL, C. **Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos.** 2009. Disponível em: [www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14\\_PropPapeleiras.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf). Acesso em: 10 mar 2010.

FOELKEL, C. **Elementos de vaso e celulosas de eucalipto**. 2007. Disponível em: <[www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04\\_vasos.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf)>. Acesso em: 27 maio de 2010.

GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., DE OLIVEIRA, R.C., SILVA, C.M., Caracterização tecnológica, para a produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. - **Revista Árvore**, jan.-fev., v. 29, n. 001, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, Brasil, p.129-137, 2005.

MACHADO, E.B. Controle de *Condylorrhiza vestigialis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae), a mariposa do álamo, com o uso de *C. vestigialis*. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MADEIRA TOTAL. **Anatomia da madeira: estruturas físico-químicas da madeira**. Matérias Técnicas. 2009. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/materia.php?id=85>>. Acesso em: 20 maio de 2010.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

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

OLIVEIRA; J.G L. **Propriedades anatômicas da madeira de dois clones de eucalipto implantados em diferentes localidades**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2009.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa. MG: UFV, 1987. 4p.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **Reflorestamento de acácia: nova fonte de renda para o produtor florestal**. n.117, nov. 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1337&subject=Reflorestamento&title=Reflorestamento%20de%20ac%C3%A1cia:>](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1337&subject=Reflorestamento&title=Reflorestamento%20de%20ac%C3%A1cia:>)>. Acesso em: 15 maio 2010.

SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpa branqueada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. **Fatos e números do Brasil florestal: dezembro de 2008**. Disponível em:<

<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2010.

SUZANO CELULOSE E PAPEL. **Visão geral do setor**. 2009. Disponível em:<<http://suzano.infoinvest.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406030.wan&doc=ian370.doc&language=ptb>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

WASTOWSKI, A.D. **Celulose e papel** (Química da madeira. Departamento de Engenharia Florestal). 83 p. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.