**ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA PARA
PRODUÇÃO DE CELULOSE RELACIONADA A
PRECOCIDADE NA SELEÇÃO DE UM HÍBRIDO *Eucalyptus*
grandis x *Eucalyptus urophylla***

GLÁUCIA SOARES BARBOSA DE ALENCAR

Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Março - 2002

ALENCAR, G. S. B. Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

p.	item	linha	onde se lê:	leia-se:
10	2.5	primeira	Shimoyama & Barrichelo, 1971)	Shimoyama & Barrichelo, 1991)
10	2.5	décima terceira	Malan ⁴ citado por Gomes (1997) ...	Malan ⁴ citado por Silva Júnior (1997) ...
10	2.5	vigésima quinta	Dos Santos (2000), ...	Santos (2000), ...
20	3.4	décima primeira	A variabilidade dos resultados foi expresso pelo coeficiente de variação em percentagem.	A variabilidade dos resultados foi expresso pelo coeficiente de correlação em percentagem.
p.	item	linha	acrescentar:	
18	3.2.2	quinta	Para a determinação da densidade básica dos cavacos foi utilizado o método do máximo teor de umidade, conforme Foelkel, Brasil & Barrichelo (1971).	
18		vigésima	3.2.5 Determinação da percentagem de casca Para a determinação da percentagem de casca e volume foi utilizado o método da balança hidrostática determinado-se os volumes dos discos com e sem casca. A percentagem de casca e peso baseou-se nos pesos dos discos com e sem casca.	
70		quinta	FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, n.2/3, p.65-74, 1971.	
70		sétima	FOELKEL, C. E. B.; GONZADA, J. V.; BUSNARDO, C. A. et al. Melhoramento genético das qualidades celulosica-papeleiras da madeira do Eucalyptus saligna. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 15., São Paulo, 1982. Anais. São Paulo: ABCP, 1982. v.1, p. 35-53	
72		sétima	SHIMOYAMA, V.R.S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em Eucalyptus. Piracicaba, 1990, 101p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de "Agricultura Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.	

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Alencar, Gláucia Soares Barbosa de
Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a
precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.
72 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.
Bibliografia.

1. Celulose sulfato 2. Eucalipto 3. Madeira (Qualidade) 4. Tecnologia da madeira
I. Título

CDD 634.9734

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

“Dentro de cada um de nós existe uma força maior nos impulsionando, nos encorajando a prosseguir, nos fazendo crer no dia de amanhã. Tudo sabe, tudo vê, tudo pode. Se não fosse por ela, eu não teria chegado até aqui.

A esta força maior, chamada Deus, eu dedico este trabalho.”

(Carla R. dos Santos)

Muito Obrigada!

Aos meus pais, Agenor e Edila pelo amor e dedicação em que me mostraram o caminho...

Ao meu marido, Severino, que tem me incentivado nesta caminhada...

À minha irmã, Bianca, pela sinceridade do amor...

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, pela orientação, atenção, empenho pessoal, apoio e confiança.

Ao professor Dr. Francides Gomes da Silva Júnior, pela colaboração, incentivo e amizade durante o período de mestrado.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade.

A empresa International Paper do Brasil, Eng. Eduardo Campinhos, e aos técnicos que auxiliaram nas atividades de Campo e coleta do material.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – pelo suporte financeiro necessário a realização do trabalho.

Ao Laboratório de Química, Celulose e Energia - LQCE/LCF/ESALQ. Aos técnicos Udemilson Luiz Ceribelli e Maria Regina Buch, as estagiárias (Camila Sarto e Talita Cristina Zamoner).

Aos amigos de Piracicaba – Ana Maria, Anne Caroline, Antonio, Fábio, Francismara, José Fernando, Maria de Lourdes e Silvia – pela amizade sincera.

Aos amigos distantes cuja amizade se fez mais forte.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Características do híbrido <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	3
2.2 Importância da qualidade da madeira.....	5
2.3 O eucalipto como matéria-prima da indústria de celulose e papel.....	7
2.4 Influência da idade da madeira.....	8
2.5 Densidade básica da madeira.....	9
2.6 Características anatômicas da madeira.....	11
2.7 Composição Química da Madeira.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Material.....	15
3.2 Métodos.....	17
3.2.1 Amostragem.....	17
3.2.2. Determinação da densidade básica das madeiras.....	18
3.2.3 Determinação das dimensões das fibras.....	18
3.2.4 Análises químicas da madeira.....	18

3.3 Produção de celulose.....	19
3.3.1 Cozimentos.....	19
3.3.2 Análise dos cozimentos.....	19
3.3.2.1 Determinação de rendimento.....	19
3.3.2.2 Número Kappa.....	20
3.4 Análise estatística dos dados.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSÃO.....	21
4.1 Densidade básica e percentagem de casca.....	21
4.2 Análise de dimensões das fibras.....	30
4.3 Composição química da madeira.....	34
4.4 Cozimentos.....	37
4.4.1 Efeito das idades.....	38
4.4.1.2 Rendimento depurado.....	38
4.4.1.3 Teor de rejeitos.....	40
4.4.1.4 Número Kappa.....	41
4.4.1.5 Relação RD/Kappa.....	43
4.4.2 Efeito da carga do álcali ativo.....	44
4.4.2.1 Rendimento depurado.....	44
4.4.2.2 Teor de rejeitos.....	46
4.4.2.3 Número Kappa.....	48
4.4.2.4 Relação RD/Kappa.....	49
4.4.3 Idade x carga de álcali ativo.....	51
5 CONCLUSÕES.....	56
ANEXOS.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Média da densidade básica por idade de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	22
2 Correlação entre densidades médias das árvores e densidades dos cavacos.....	24
3 Variação da densidade básica da madeira sem casca em diferentes idades.....	26
4 Percentagem de casca em volume em diferentes idades.....	28
5 Percentagem de casca em peso em diferentes idades.....	30
6 Dimensões das fibras para diferentes idades.....	32
7 Teores de holocelulose para as diferentes.....	36
8 Teores de lignina total para as diferentes idades.....	36
9 Teores de extrativos totais para as diferentes idades.....	37
10 Valores de rendimento depurado para diferentes idades.....	39
11 Valores dos teores de rejeitos para as diferentes idades.....	40
12 Valores de número kappa para diferentes idades.....	42
13 Valores da relação rendimento depurado/Kappa para diferentes idades.....	43

14	Valores de rendimento depurado para as diferentes cargas de álcali ativo.....	45
15	Teores de rejeitos para as diferentes cargas de álcali ativo.....	47
16	Valores do número Kappa para as diferentes cargas de álcali ativo.....	48
17	Valores da relação rendimento depurado/Kappa para as diferentes cargas de álcali ativo.....	50
18	Valores de rendimento depurado relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.....	51
19	Rendimentos depurados e números Kappas relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.....	53
20	Rendimento depurado estimado para um número kappa 15 a partir de modelos de regressões ajustadas para cada uma das idades.....	54

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Idade, horto, espaçamento e classificação do solo.....	16
2 Características geográficas e climáticas dos hortos.....	17
3 Densidades médias das árvores de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	22
4 Densidades médias dos cavacos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	23
5 Análise de variância para densidade básica da madeira das espécies – valores de F.....	24
6 Densidade básica e aplicação do teste de Tukey.....	25
7 Variação base-topo da densidade básica (valores médios).....	26
8 Valores médios das percentagens de casca em volume de <i>E. grandis</i> x <i>E.</i> <i>urophylla</i> para diferentes idades.....	27
9 Variação base-topo da percentagem de casca em volume (valores médios).....	28
10 Valores médios das percentagens de casca em peso de <i>E. grandis</i> x <i>E.</i> <i>urophylla</i> para diferentes idades.....	29
11 Variação base-topo da percentagem de casca em peso (valores médios)..	29
12 Dimensões das madeiras para as diferentes idades.....	30
13 Relações entre as dimensões das fibras para as diferentes idades.....	33
14 Composição química das madeiras para as diferentes idades.....	34
15 Rendimento depurado e teste de Tukey para comparações de médias.....	38
16 Teores de rejeitos e teste de Tukey para comparações de médias.....	40

17	Número Kappa e teste de Tukey para comparações de médias.....	41
18	Relação rendimento depurado/Kappa e teste de Tukey para comparações de médias.....	43
19	Rendimento depurado e teste de Tukey para comparações de médias.....	45
20	Teores de rejeitos e teste de Tukey para comparações de médias.....	46
21	Número Kappa e teste de Tukey para comparações de médias.....	48
22	Relação rendimento depurado/Kappa e teste de Tukey para comparações de médias.....	49
23	Valores de rendimento depurado estimado para um número Kappa 15 a partir de modelos de regressões ajustados para cada uma das idades.....	54

**ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE
RELACIONADA A PRECOCIDADE NA SELEÇÃO DE UM HÍBRIDO**
Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla*

Autora: GLÁUCIA SOARES BARBOSA DE ALENCAR

Orientador: PROF. DR. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

RESUMO

O presente trabalho analisou a relação das características da madeira e polpa resultante, com a idade, visando a seleção precoce de materiais genéticos destinados a plantios em escala comercial. A madeira utilizada foi a de um híbrido (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) obtida a 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos pós-plantio. As características ensaiadas foram: densidade básica, percentagem de casca (volume e peso), dimensões das fibras, composição química e parâmetros da polpação Kraft (rendimento depurado, teor de rejeitos, número kappa e relações). Para este último objetivo, as madeiras de cada uma das idades foram cozidas com cinco cargas de álcali ativo: 13, 14, 15, 16 e 17%, mantendo-se constantes as outras variáveis de cozimento. Observou-se uma

relação positiva entre a densidade básica e a idade. O modelo de variação longitudinal para densidade básica da árvore e semelhante para todas as idades com valores mais elevados na base e valores mínimos entre 25 e 50% da altura comercial. Da mesma forma, os modelos de variação da percentagem de casca, tanto em volume como em peso, no sentido base-topo, foram semelhantes aos obtidos para densidade básica e independentes da idade do material. Quanto às dimensões das fibras, para comprimento e espessura das paredes das fibras, notou-se uma tendência definida de aumento conforme o aumento da idade. As outras dimensões, largura e diâmetro do lume, não apresentaram modelos definidos de variação com a idade. Da mesma forma, a composição química não apresentou padrões definidos de variação com a idade. Notou-se quanto aos parâmetros da polpação um efeito diferenciado de cada uma das idades para as distintas cargas de álcali ativo. Os melhores resultados foram obtidos com baixa carga de álcali ativo (13 e 14%) a partir da idade de 4 anos. A influência da carga alcalina, independentemente da idade do material, mostrou uma tendência de reduzir o rendimento depurado e respectivo número kappa.

STUDY OF WOOD QUALITY FOR THE CELLULOSE PRODUCTION RELATED TO THE PRECOCITY OF A *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* HYBRID SELECTION

Author: GLÁUCIA SOARES BARBOSA DE ALENCAR

Adviser: Prof. Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

SUMMARY

The present work analyzed the wood and resulting pulp characteristics related to the age, aiming at the precocious selection of genetic materials destined to commercial scale planting. Wood from a hybrid (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) obtained at 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 cycle years was employed. The studied characteristics were: basic density, bark percentage (volume and weight), fiber dimensions, chemical composition and Kraft pulping parameters (depurated yield, rejets rate, kappa number and relations). For the later objective, wood from each age were cooked with five active alkali charges: 13, 14, 15, 16 e 17%, keeping the other cooking variables constant. A positive relation between the basic density and the age was observed. The longitudinal variation model for the tree basic density is similar for all of the ages showing higher values at the base, and minimum values between 25 e 50 percent of the commercial height. In the same way, the variation models for the bark percentage, either in volume as in weight, in the base-top direction, were similar to the ones obtained for the basic

density and independent from the material age. As for the fiber dimensions, concerning the fiber walls length and thickness, it seemed to exist a trend of increase according to the increasing in age. The other dimensions, width and lumen diameter, did not present defined variation models related to age. Also the chemical composition did not present defined variation patterns with age. Regarding the pulping parameters, a differentiated effect of each of the ages, for the distinct active alkali charges, was observed. The best results were obtained with low active alkali charge (13 and 14 percent), starting at the age of 4 years. The alkaline charge influence, independent from the material age, showed a clear trend to reduce the depurated yield and respective kappa number.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de diferentes tipos de celulose, bem como a globalização de seus mercados vêm estimulando pesquisas na busca de matérias-primas mais apropriadas e diversificadas à sua fabricação. No Brasil, a madeira de eucalipto é um exemplo típico dessa tendência. Constatou-se através de inúmeros estudos que as espécies desse gênero foram, a princípio, alvo de preocupações voltadas à obtenção de florestas altamente produtivas, sem a devida preocupação com a qualidade da madeira para o produto final; contudo comprovou-se a necessidade de novas pesquisas na busca de materiais geneticamente superiores em termos de rendimento e qualidade de produção de celulose. Nesse contexto, um elemento importante que deve ser considerado, é a influência da idade da árvore sobre a quantidade e a qualidade da madeira a ser obtida.

As correlações existentes entre as características da madeira e da polpa celulósica devem estar associadas ao plano de melhoramento genético florestal que considerem as características tecnológicas da madeira. No entanto, para avaliação da qualidade da madeira faz-se necessário que a mesma esteja em idade de corte apropriada. Este fator, analisado sob a ótica de programas de melhoramento genético florestal implica em maior necessidade de tempo para incorporação destas características em plantios comerciais. A redução da idade da madeira destinada à avaliação de características tecnológicas, ou seja, a seleção precoce, representa uma economia de tempo em programas de melhoramento que consideram estas características (Silva Júnior et al., 1997).

A precocidade no processo de seleção é particularmente interessante, porque diminui o tempo de análise do material e trás como conseqüência o aumento da eficiência desse processo ao longo dos anos. Para polpa celulósica, sua qualidade é dependente dos aspectos químicos, anatômicos e físicos da matéria-prima.

Várias abordagens são encontradas na literatura acerca do melhoramento voltado para a qualidade da madeira. Quando se fala em características da madeira diretamente, muitos trabalhos enfocam a densidade básica, pelo fato de ser uma das principais características de avaliação de qualidade, além da maior facilidade de amostragem e mensuração (Santos et al., 1993). Além da densidade básica, outros parâmetros destacam-se, entre elas, as características das fibras, parênquimas e vasos bem como os teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos.

A silvicultura moderna deverá atender as demandas cada vez mais crescentes da madeira e associá-las à qualidade para fins específicos. Para acompanhar as demandas dos mercados de celulose e papel, encontram-se favoráveis às pesquisas para o desenvolvimento de técnicas e estudos de matérias-primas mais apropriadas.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar as características de madeira do híbrido (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e da celulose entre o primeiro ano até o sétimo ano de crescimento, dando-se enfoque a produção e utilização de celulose para papel, bem como na análise, com relação a densidade básica, dimensões de fibras, composição química e rendimento depurado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

A espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ocorre nas regiões costeiras da Austrália em Newcastle, ao Norte de Nova Gales do sul, no sudeste de Queensland em áreas pequenas próximas a Mackay e no planalto de Atherton. Suas áreas de ocorrência principais situam-se entre 26º e 32º de latitude sul, na região de Queensland a 20º S e ao norte de Queensland a 17º S (Boland et al., 1992).

O clima é predominantemente subtropical na região norte, e temperado no limite sul da ocorrência natural. Nas regiões costeiras, não ocorrem geadas. O regime de chuvas é estacional de verão, com precipitação anual total de 1.000 a 1.700 mm, ocorrendo a precipitação do mês mais seco superior a 25 mm. As altitudes variam entre 0 e 500 m em Nova Gales do Sul, e entre 800 e 1.000 m no planalto de Atherton, onde ocorre o *Eucalyptus grandis* (Boland et al., 1992).

A espécie *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake é nativa da Indonésia e de outras ilhas ao norte do Continente Australiano, Papua Nova Guiné, Filipinas e Timor. Ocorre principalmente, entre 7º e 10º de latitude sul e 122º a 127º de longitude leste. O *Eucalyptus urophylla* é encontrado com maior frequência em altitudes de 500 m, podendo ocorrer em locais de até 3.000 m de altitude. O clima predominante destes locais é tropical a subtropical úmido, sendo as médias

de temperatura do mês mais frio de 10º C e do mês mais quente é 29º C. Nas áreas altas, ocorrem geadas e a precipitação anual é de 1.000 a 1.500 mm, com regime de chuvas estacionais de verão (Boland et al. ¹citado por Nielsen, 1998).

No Brasil, a espécie foi introduzida em 1919 por Navarro de Andrade em Rio Claro - SP, com sementes coletadas em duas árvores do jardim Botânico de Bogor, em Java. Em Rio Claro, o material hibridou-se com outras espécies e veio a fornecer sementes, conhecidas com “Híbrido de Rio Claro”, para plantios comerciais (FERREIRA, 1979).

As espécies de eucalipto apresentam fecundação cruzada, facilitada por mecanismos de auto-incompatibilidade e depressão por endogamia, além de hibridação interespecífica natural. Os eucaliptos, também, apresentam um sistema misto de cruzamento, com alogamia predominante e níveis de autofecundação (Campinhos, 1996).

No Brasil, as espécies *E. grandis* e *E. urophylla* e o seu híbrido adquiriram grande importância para a produção de papel e celulose de fibra curta. Martins & Ikemori² citados por Carvalho (2000) estudando vários cruzamentos entre espécies de eucalipto, destacam que o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foi o híbrido que mais se destacou, devido suas características desejáveis para a produção de celulose, sua boa produtividade relacionada a adaptação ecológica às condições do local e mostrando inclusive resistência ao cancro.

A hibridação utilizada como técnica de desenvolvimento de novos materiais genéticos trás a vantagem de gerar indivíduos parcial ou inteiramente diferentes. Através de programas de clonagem, é possível obter plantios oriundos

---

¹ BOLAND, D. J. et al.. **Forest trees of Australia**. 4.ed., Melbourne: CSIRO, 1994. 703p.

² MARTINS, F. C. G.; IKEMORI, Y. K. Produção de híbridos de eucalipto na Aracruz. In: REUNIÃO SOBRE TÉCNICAS PARA PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS, Piracicaba, IPEF, 1987. Piracicaba: IPEF, 1987. p. 48-62.

de árvores testadas tecnologicamente e com características adaptadas ao local de cultivo e ao processo industrial. Programas de melhoramento florestal que utilizam a hibridação foram bastante aplicados em empresas do setor como a Aracruz Celulose S.A., do Espírito Santo, e a International Paper do Brasil S. A., de São Paulo, que dispõem hoje de milhares de hectares plantados com indivíduos clonados de híbridos. Nestes plantios, destaca-se o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, de alta produtividade no campo, e de excelentes características de qualidade da fibra (Brigatti et al., 1980; Ikemori & Campinhos Jr., 1983; Bertolucci et al., 1993; Carvalho, 2000).

2.2 Importância da Qualidade da Madeira

Acompanhando a globalização de mercado, a estrutura das empresas tem se modificado de forma notável. Essa mudança atinge prioritariamente as grandes empresas cujo contato com mercado externo, e conseqüentemente, a necessidade de ajuste à nova realidade, é mais intenso. Essa mudança ocorre em grande parte nos setores da indústria internacional e brasileira. Nesse contexto de mudanças, um conceito que tem sido divulgado e empregado de forma ampla é o da qualidade de um produto. Para tais segmentos da indústria, onde há necessidade de aumentar a competitividade no mercado externo, o termo qualidade tem sido buscado incessantemente. Assim, de modo simplificado, na capacidade de uma empresa em produzir um produto de qualidade reside a facilidade desta em ocupar espaço no mercado. Esse produto apresenta, portanto, características que satisfazem uma demanda considerável para um determinado segmento em questão (Birkland, 1990; Silva Júnior et al., 1997).

Na produção de celulose de qualidade, é essencial dispor de uma série de informações a fim de controlar as etapas do processo de produção desta celulose. O fabricante deve atentar para o estabelecimento dos parâmetros a serem controlados, e, para quais os limites máximos e mínimos de cada um, ao

longo do processo e no produto final. Com isso se atingirá uma celulose com qualidade uniforme, e que, graças aos seus predicados, é facilmente comercializada (Foelkel, 1978).

Barrichelo (1999), propõe uma integração Floresta-Indústria, na qual entende-se o conjunto de medidas ou ações que propiciem uma maior aproximação e entrosamento dos setores florestal e industrial visando, fundamentalmente, o aumento do rendimento e melhoria da qualidade do produto (celulose ou pasta), respeitando-se os aspectos científicos, técnicos, econômicos e sociais envolvidos, trazendo assim melhorias das propriedades da celulose e/ou pasta em função do seu uso ou destino final.

Na indústria polpa celulósica, a utilização de espécies melhoradas geneticamente, bem como a de seus materiais híbridos tem facilitado a uniformização da matéria-prima que a abastece. Inúmeros trabalhos indicam a possibilidade de se prever propriedades da polpa celulósica e/ou papel através da análise das características da madeira (Barefoot et al., 1966; Ong, 1978) ou de seus elementos anatômicos (Barefoot et al., 1970; Goodwinbailey, 1989). Clarke (1995) enfatiza a importância de associar as características químicas da madeira com a polpa, considerando que o processo de obtenção da mesma é essencialmente químico.

Para polpa celulósica, sua qualidade é altamente dependente dos aspectos químicos, anatômicos e físicos da matéria-prima.

Várias abordagens são encontradas na literatura acerca do assunto melhoramento voltado para qualidade da madeira. Quando se fala em características da madeira diretamente, muitos trabalhos enfocam a densidade básica, pelo fato de ser uma das principais características de avaliação de qualidade, além da maior facilidade de amostragem e mensuração (Santos et al., 1993). Além da densidade básica, outros parâmetros manifestam-se para a caracterização da madeira como: as características das fibras, parênquima e vasos

bem como os teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos (Barrichelo, 1983).

Dean (1990) define como principais parâmetros da madeira para se estabelecer uma correlação entre a qualidade da madeira e a qualidade da pasta celulósica, a morfologia das fibras e a densidade básica da madeira.

2.3 O Eucalipto como Matéria-prima da Indústria de Celulose e Papel

Com uma visão futurista Barrichelo et al. (1975) já divulgavam que as espécies do gênero *Eucalyptus* atingiriam uma posição de destaque entre as principais matérias primas fornecedoras de fibras para a indústria de celulose e papel. Tal relato veio a se concretizar, tendo grande participação o nosso país, onde houve uma adaptação silvicultural do eucalipto com expressivo sucesso.

Tendo como fonte de matéria-prima básica a madeira de *Eucalyptus* para a produção de celulose branqueada de fibra curta, a produção ampliou-se em cinco vezes no período entre 1970 e 1999 (386 mil toneladas em 1970 e 5,29 milhões de toneladas em 2001), conforme dados da BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel – 2001).

Por outro lado, o reflorestamento com espécies de *Eucalyptus* teve um aumento, de 97.298 ha (16%), ou seja, a área que em 1970 era de 510.900 hectares, em 1998-99 atingiu um valor de 608.198 ha. O abastecimento industrial tem sido assegurado, na sua maior parte, pelo extraordinário aumento da produtividade dos plantios decorrente do aporte de recursos no desenvolvimento de pesquisas e aplicação de tecnologia (Kronka et al., 2001).

Constituem uma das principais fontes de matéria-prima para a indústria nacional de celulose o *Eucalyptus urophylla* e os seus híbridos (*E. urophylla* x *E. grandis*; *E. urophylla* x *E. tereticornis*; *E. urophylla* x *E. saligna*), sendo o seu desenvolvimento, em altura e diâmetro, excelente. Sua madeira é de densidade intermediária entre as de média densidade (*E. saligna* e *E. grandis*: em torno de

0,460 g/cm³) e as de alta densidade (*E. citriodora* e *E. paniculata*: acima de 0,570 g/cm³) (Busnardo, 1981).

Foelkel³ et al. (1978) e citado por Carvalho (2000) explicam que a maior vantagem do *Eucalyptus urophylla* e seus híbridos sobre as espécies de média densidade e requer menores volumes de madeira por tonelada de celulose de qualidade similar, apresentando um consumo específico de cera de 5,53 estéreos por toneladas de celulose, enquanto sua celulose apresenta resistência físico-mecânicas bastante razoáveis.

2.4 Influência da Idade da Madeira

Pode-se dizer que praticamente todas as propriedades da madeira são afetadas pela idade. Sabe-se que o tecido meristemático cambial (responsável pelo crescimento secundário da árvore) passa por mudanças ao longo dos anos. Essas mudanças ocasionam variações na madeira produzida em cada idade. Como consequência, a madeira produzida nos primeiros anos é significativamente diferente da madeira nas idades mais avançadas. Denomina-se madeira “juvenil” a madeira dos estágios iniciais de crescimento e a madeira “mais velha”, madeira “adulta” (Ferreira, Freitas & Ferreira, 1979). Segundo Foelkel et al. (1975), a madeira juvenil caracteriza-se anatomicamente por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento (Foelkel, 1976). Trugilho (1996) relata que o aumento na idade da árvore afeta positivamente o teor de holocelulose da madeira, sua densidade básica e comprimento da fibra e espessura de parede, sendo observado o inverso para o teor de cinzas, lignina e extrativos totais.

---

³ FOELKEL, C.E.B.; ZVINKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. et al. Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **Cenibra Pesquisa**, n.68, p. 1-31, 1978.

Em estudos sobre a variação da densidade básica em árvores de eucalipto (*E. grandis*), foi observado que a densidade é crescente até o décimo ano, aproximadamente, tendendo a um lento decréscimo a partir do décimo terceiro ano (Rezende & Ferraz, 1985).

As correlações existentes entre as características da madeira e da polpa celulósica e/ou papel permitem o desenvolvimento de programas de melhoramento genético florestal que consideram as características tecnológicas da madeira. No entanto para avaliação da qualidade da madeira faz-se necessário que a madeira esteja em idade de corte. Este fator, analisando sob a ótica de programas de melhoramento genético florestal implica em maior necessidade de tempo para incorporação destas características em plantios comerciais. A redução idade da madeira destinada à avaliação de características tecnológicas, ou seja, a seleção precoce, representa uma economia de tempo em programas de melhoramento que consideram estas características (Silva Júnior et al., 1997).

2.5 Densidade Básica da Madeira

A densidade básica é uma das características resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Portanto, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes de extração presentes por unidade de volume (Panshin e de Zeeuw, 1980). No gênero *Eucalyptus* a densidade pode variar com a idade, com vigor, com o local onde crescem, com a taxa de crescimento e, na mesma árvore varia no sentido base-topo e na distância medula-casca (Ferreira, 1972 e Souza, Della Lucia e Resende, 1979).

A variação da densidade básica, pode ocorrer entre gêneros, entre espécies do mesmo gênero e árvores de uma espécie (Barrichelo, 1983), sendo considerada uma propriedade complexa, resultado de combinação de elementos

anatômicos e químicos da madeira (Shimoyama & Barrichelo, 1971). As influências mais significativas são exercidas pelo comprimento e largura das fibras, proporção dos lenhos inicial e tardio, quantidade e composição de extrativos (Barrichelo, 1979). A importância da densidade básica no processo produtivo está ligada a obtenção de celulose em termos de rendimento por unidade de volume, bem como com influência no ritmo de deslignificação da madeira (Foelkel, 1976).

A variação da densidade da madeira não obedece a um padrão definido dentro da árvore (Souza et al., 1986), porém no sentido radial a madeira das espécies do gênero *Eucalyptus* têm mostrado tendência em aumentar sua densidade da medula para a casca (Foelkel et al., 1982 e citado por Shimoyama, 1990).

Malan⁴ citado por Gomes (1997) correlacionam a densidade básica da madeira e algumas características do papel como, por exemplo, a resistência ao estouro, resistência à tração e "bulk". Segundo os autores estas correlações estariam ligadas a algumas características das fibras (diâmetro do lume, fração parede), as quais influenciariam na densidade básica.

Como parâmetro de aferição da qualidade, a densidade básica da madeira possui ampla aceitação pelo fato de estar correlacionada com diversas características e propriedades de uso do produto final e pela simplicidade de sua determinação. Além de ser uma característica passível de melhoramento por apresentar alto valor de herdabilidade e variabilidade entre os indivíduos (Ruy 1998).

Dos Santos (2000), relata que a qualidade da polpa é diretamente influenciada pela densidade básica, podendo ser verificado através das resistências mecânicas, características superficiais e ópticas da mesma.

---

⁴ MALLAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. São Paulo: IPEF; IPT, 1995. p.1–19.

Segundo Foelkel et al. (1992), a densidade básica para madeiras de *Eucalyptus* pode variar de 0,300 a 0,800 g/cm³. No entanto, para a produção de polpa é recomendado o uso de madeiras cujas densidades básicas estejam entre 0,450 a 0,550 g/cm³. O uso de madeiras muito leves levam à redução do rendimento, ao passo que madeiras muito pesadas apresentam dificuldades na picagem e impregnação, consomem elevadas quantidades de reagentes, podem conduzir a elevados teores de rejeitos e baixos rendimentos de processo (Santos, 2000 e Wehr, 1991).

2.6 Características Anatômicas da Madeira

Com relação à anatomia da madeira, a melhor visualização de influências é verificada ao se analisar as características das fibras sobre as propriedades físicas do papel. Foelkel & Barrichelo (1975) relatam que a resistência do papel à tração, arrebentamento e rasgo são altamente influenciadas pelo comprimento da fibra. Tal influência se explica, considerando-se que no caso de fibras mais longas há menor possibilidade dessas se separarem da estrutura do papel, que no caso de fibras mais curtas, quando submetidas à um mesmo esforço. Por sua vez, fibras com paredes mais espessas sofrem menor colapso em relação à fibras de paredes mais finas, diminuindo a resistência do papel (Gaioto, 1991). Van Buitenen (1969) e Giertz (1989), já haviam citado que, os diâmetros das fibras e de seus lumes, aliados à espessura das paredes conferem importantes características às fibras para a fabricação de papel. Estas dimensões estão relacionados com a capacidade de colapsamento ou conformabilidade lateral das fibras.

A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira e as variações na espessura da parede entre e dentro das árvores são similares ao padrão de variação da densidade Malan (1995).

Vários trabalhos têm demonstrado que as características anatômicas da madeira, tais como comprimento da fibra, espessura da parede, diâmetro do lume, proporção dos vários tipos de células e tecidos, como vasos e parênquimas, possuem certa relação com a densidade. Pois assim como a densidade exerce sua influência na característica final da madeira, ela também sofre influência dos elementos que a compõem.

As dimensões das fibras isoladamente, podem não mostrar correlações significativas com a densidade, conforme verificado por Andrade (1987) e citado por Ruy (1998). Porém, ao agrupá-las, podem ser constatados resultados satisfatórios. Esses agrupamentos, sob diversas formas, resultam em índices que auxiliam na interpretação da qualidade da madeira. São eles o índice de Runkel, definido como sendo a relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o respectivo diâmetro do lume; o índice de enfiletramento, relação entre o comprimento e a largura da fibra; o coeficiente de flexibilidade, expresso pela relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra, em porcentagem; e a fração parede, definida como sendo a relação percentual entre a espessura da parede da fibra e a metade de sua largura. Barrichelo (1979), observou que o índice de Runkel é a relação que exerce maior influência sobre a densidade da madeira.

Gamoeda (1988) define que as fibras de eucalipto são rígidas, de parede espessa e, portanto pouco flexíveis. A relação entre a espessura da parede da fibra e o diâmetro destas varia de 0,7 a 1,5 de acordo com o índice de Runkel.

Segundo Trigilho et al. (1996), algumas características da madeira juvenil são:

- proporcionalmente mais xilanas e lignina;
- menos celulose e glucomananos;
- menor comprimento de fibra e vasos;
- menor diâmetro celular;
- paredes celulares mais finas;
- menor densidade básica;

- maiores ângulos fibrilares;
- maiores proporções de fibras e menores proporções de vasos.

2.7 Composição Química da Madeira

A composição química da madeira é complexa. Os tecidos das madeiras são constituídos de muitos componentes químicos que estão distribuídos desuniformemente, como resultado da estrutura anatômica. A maior parte da substância madeira é composta de materiais de alto peso molecular, e tem sido descrita como sendo um sistema interpenetrado de polímeros. Cada componente está presente em quantidades específicas e possui características bem definidas, as quais podem ser influenciadas pelas condições que a madeira está submetida (Trugilho et al. 1996).

Almeida et al. (2001) cita que a composição química, as dimensões e a distribuição dos elementos celulares, compondo a estrutura anatômica da madeira, são fatores essenciais e que contribuem com as características de qualidade resultantes após seu processamento.

Segundo (Fonseca et al., 1996 e Santos, 2000) a composição química assume grande importância frente ao rendimento em polpa kraft. A lignina e os extrativos, por exemplo, influenciam diretamente o consumo de álcali, rendimento da deslignificação e o potencial de produção industrial.

Na produção de polpa Kraft há forte interferência da matéria-prima, dentre outros aspectos, através da carga alcalina utilizada, com efeitos diretos no rendimento gravimétrico depurado. Cargas alcalinas efetivas mais elevadas, mantidas as demais condições, contribuem para o aumento das cinéticas de reações com os constituintes químicos da madeira, algumas dessas indesejáveis Almeida et al. (2001).

Segundo Foelkel (1978), o teor de lignina, bem como o teor de extrativos da madeira tendem a aumentar em madeira mais velha (acima de 15

anos). Almeida (2001), considera o teor de extrativos um parâmetro importante na seleção de madeira para produção de polpa. Algumas empresas têm considerado o teor de extrativos solúveis em diclorometano como um indicador de qualidade da madeira, embora a sua herdabilidade ainda esteja sendo estudada.

A alta correlação entre hemicelulose e rendimento também foi encontrada por Wehr (1991) em estudo com 4 lotes de tipos diferentes de *Eucalyptus grandis*. O autor verificou que madeiras com baixo teor de extrativos e lignina conduzem a um aumento no rendimento.

Estudo realizado pela TAPPI Forest Biology Subcommittee nº 2, correlaciona a influência da lignina sobre o rendimento. Quanto maior o teor de lignina, maior a carga de álcali necessária para efetuar a deslignificação. Um aumento na carga de álcali implicaria numa maior degradação e dissolução dos polissacarídeos da madeira, provocando queda no rendimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Neste experimento, foram utilizadas madeiras de árvores de um híbrido entre *E. grandis* e o *E. urophylla*, produzido a partir de estaquia (clonagem), provenientes de um plantio comercial da International Paper do Brasil, localizada no município de Mogi Guaçu - SP. O material utilizado correspondeu às seguintes idades: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos.

A Tabela 1 apresenta informações sobre os locais das coletas das amostras.

Tabela 1. Idade, horto, espaçamento e classificação do solo.

IDADE (anos)	HORTO	ESPAÇAMENTO (metros)	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
1	Horto Santa Tereza	3,6 x 2,5	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico
2	Horto Mogi Guaçu	3,0 x 3, 0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico
3	Horto Mogi Guaçu	3,0 x 2,0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico
4	Horto São Marcelo	3,0 x 2,0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico
5	Horto Sta. Tereza	3,0 x 2,0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico
6	Horto Mogi Guaçu	3,0 x 2,0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Arenosa Álico
7	Horto Mogi Guaçu	3,0 x 2,0	Latossolo Vermelho Amarelo Textura Média Argilosa Álico

As características geográficas e climáticas dos hortos estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características geográficas e climáticas dos hortos

	LOCALIZAÇÃO		
	Horto Santa Tereza	Horto São Marcelo	Horto Mogi Guaçu
Latitude	22° 12' 05"	22° 22' 17"	22° 17' 25"
Longitude	47° 07' 33"	46° 59' 37"	46° 59' 16"
Altitude	660 metros	625 metros	630 metros
Temperatura média	_____	21,4° C	21,4° C
Pluviosidade média anual	1500 mm	1508 mm	1508 mm

3.2 Métodos

3.2.1 Amostragem

Foram coletadas 10 árvores por tratamento, amostradas ao acaso e apresentando estado fitossanitário normal.

Das árvores selecionadas, foram retirados discos de 2,5 cm de espessura na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. O material foi separado, identificado e armazenado por árvore. Os discos amostrados foram utilizados para a determinação da densidade básica.

As árvores abatidas, dentro de cada tratamento foram descascadas no campo de forma manual e transformadas em cavacos utilizando-se picador industrial, exceto para as idades de 1 ano e 2 anos que foram picadas manualmente. Após homogeneização completa, foram retiradas sub-amostras de cavacos para determinação das dimensões das fibras, composição química e produção de celulose.

3.2.2. Determinação da densidade básica das madeiras

A densidade básica foi determinada através do método da balança hidrostática (Tappi T258 om-89) utilizando-se a totalidade dos discos amostrados. A partir destes dados, foram calculadas as densidades médias das árvores e médias entre as idades.

3.2.3 Determinação das dimensões das fibras

Após a maceração e montagem das lâminas, 100 fibras por tratamento foram mensuradas sendo determinando as seguintes dimensões: comprimento (C), largura (L), espessura de paredes (E) e diâmetro do lume (DL). A partir destas dimensões foram calculadas as seguintes relações:

- Índice de Runkel: $(2.E/DL)$
- Fração Parede: $(200 E/L)$
- Coeficiente de flexibilidade: $(100DL/L)$
- Índice de enfeltramento: (C/L)

3.2.4 Análises químicas da madeira

Através da metodologia utilizada no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, as madeiras foram ensaiadas quanto aos teores de holocelulose, lignina e extrativos totais (apêndice I).

3.3 Produção de celulose

3.3.1 Cozimento

Para realização dos cozimentos, utilizou-se uma autoclave rotativa com capacidade para 20 litros com 8 cápsulas de aço inoxidável com capacidade para 80 g de cavacos absolutamente secos.

As condições para os cozimentos foram:

- % Álcali Ativo (Na_2O) ..... 13% - 14% - 15% - 16% - 17%
- Sulfidez..... 24%
- Temperatura máxima..... 170°C
- Tempo de aquecimento..... 80 min
- Tempo de cozimento..... 60 min
- Relação Licor/Madeira..... 4:1

3.3.2 Análise dos cozimentos

3.3.2.1 Determinação de rendimento

Para determinação do rendimento da madeira em celulose, foram realizados dois cozimentos para cada amostra e para cada cozimento, foi determinada a quantidade produzida de celulose absolutamente seca. A relação percentual entre o peso de celulose absolutamente seca produzida e o peso de madeira absolutamente seca forneceu o rendimento bruto.

Em seguida, por meio da depuração em depurador com fenda de 0,2 mm, os rejeitos foram separados da polpa celulósica produzida. Estes rejeitos foram secos em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. A relação percentual entre o peso seco de

rejeitos e o peso seco de madeira forneceu o teor de rejeitos. A determinação do rendimento depurado foi obtido pela diferença entre o rendimento bruto e o teor de rejeitos. Através de análise regressão, os principais parâmetros (rendimento depurado e consumo de álcali ativo) foram interpolados para número kappa igual a 15 dentro de cada idade.

3.3.2.2 Número Kappa

O número kappa foi determinado pela norma TAPPI 236 cm-85.

3.4 Análise estatística dos dados

Aplicou-se a análise estatística para testar os dados encontrados para a densidade básica e para os cozimentos. A variabilidade dos resultados foi expresso pelo coeficiente de variação em percentagem.

Utilizou-se a análise de variância com base em todos os dados obtidos e o teste Tukey, por se tratar de uma análise qualitativa de dados e por comparar a média dos dados um a um indicando as melhores e piores amostras em estudo. Todos os testes foram aplicados considerando o nível de significância de 5% e esse nível foi considerado satisfatório.

Foi adotado para esse trabalho o Programa SAS – Analysis Statistics Sistem através do procedimento ANOVA.

4 RESULTADOS E DICUSSÃO

4.1 Densidade básica e percentagem de casca

A densidade básica da madeira é uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores. Existem inúmeros trabalhos mostrando sua relação com a composição química e a dependência com as dimensões das fibras particularmente espessura das paredes, volume dos vasos, parênquima e arranjo dos elementos anatômicos.

Para a indústria de celulose e papel, várias considerações podem ser feitas em torno da densidade básica. A velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e conseqüente ritmo de deslignificação são influenciadas pela densidade. Espera-se que dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas sejam mais facilmente deslignificadas, bem como possa indicar o comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa resultante.

Os valores médios das densidades básicas de *E. grandis* x *E. urophylla* para as diferentes idades são apresentados na Tabela 3 e ilustrado na Figura 1.

Tabela 3. Densidades médias das árvores de *E. grandis* x *E. urophylla*.

IDADE (anos)	Densidade básica (g/cm ³)		
	Média *	Desv. Padrão	Coef. Var. (%)
1	0,431	0,019	4,41
2	0,441	0,008	1,87
3	0,457	0,013	2,80
4	0,461	0,012	2,58
5	0,503	0,010	2,03
6	0,520	0,021	4,00
7	0,521	0,005	0,94

*Média de 10 árvores

Figura 1 - Média da densidade básica por idade de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Os resultados demonstrados corroboram com citações da literatura de que com o aumento da idade há um acréscimo na densidade básica (Barrichelo & Nariyoshi, 1984).

A Tabela 4 apresenta os mesmos resultados para os cavacos obtidos através da picagem das árvores.

Tabela 4. Densidades médias dos cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

IDADE (anos)	Média da densidade básica (g/cm ³)
1	0,456
2	0,440
3	0,479
4	0,461
5	0,517
6	0,518
7	0,533

* Média de 5 determinações

Os resultados mostram que, para determinadas idades, há uma perfeita equivalência entre os valores determinados através das duas alternativas (densidade de madeira x densidade dos cavacos).

A Figura 2 apresenta a correlação entre a densidades médias das árvores e densidades dos cavacos.

Figura 2 - Correlação entre densidades médias das árvores e densidades dos cavacos.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância para a densidade da madeira.

Tabela 5. Análise de variância para densidade básica da madeira das espécies – valores de F.

CV	GL	F
Idade	6	75.17*
Resíduo	63	
Total	69	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

A Tabela 6 apresenta a densidade básica e aplicação do teste de Tukey.

Tabela 6. Densidade básica e aplicação do teste de Tukey*

Idade	Média da dens. Básica	Tukey Grouping
7	0,521	a
6	0,520	a
5	0,503	a
4	0,461	b
3	0,457	bc
2	0,441	cd
1	0,431	d

* As idades com mesma letra, não diferem estatisticamente entre si.

A análise de variância para a densidade básica mostrou valores F significativos ao nível de 5% de probabilidade, indicando que há diferença entre as idades. O teste de Tukey mostrou que as idades de 7, 6 e 5 anos não se diferenciam estatisticamente entre si, porém, diferenciam de todas as demais e destacam-se por apresentarem maiores valores de densidade básica quando comparadas com as outras idades.

A idade de 1 ano foi que apresentou o menor valor de densidade básica e as idades de 2 e 3 anos apresentaram valores intermediários.

A Tabela 7 e Figura 3 apresentam as variações das densidades básicas no sentido base-topo para os discos amostrados na base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial.

Tabela 7. Variação base-topo da densidade básica (valores médios).

IDADE (anos)	REGIÃO				
	BASE	25% HC	50%HC	75%HC	100 HC
1	0,443	0,428	0,431	0,404	0,396
2	0,457	0,429	0,444	0,447	0,439
3	0,461	0,446	0,460	0,467	0,475
4	0,484	0,457	0,447	0,458	0,475
5	0,506	0,495	0,505	0,513	0,512
6	0,527	0,511	0,521	0,534	0,513
7	0,515	0,509	0,528	0,542	0,536

Figura 3 - Variação da densidade básica da madeira sem casca em diferentes idades.

Pela Figura 3 observa-se a variação da densidade básica no sentido longitudinal da árvore, onde a densidade básica tende a ser elevada na base da árvore, diminuindo a 25% da altura comercial e crescendo novamente a partir deste ponto. O modelo apresenta uma leve queda de densidade entre 75 e 100% da altura comercial, confirmando observações de Barrichelo et al. (1983).

Os valores médios das percentagens de casca em volume de *E. grandis* x *E. urophylla* para as diferentes idades são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios das percentagens de casca em volume de *E. grandis* x *E. urophylla* para as diferentes idades.

IDADE (anos)	% Casca em volume		
	Média	Desv. Padrão	Coef. Var. (%)
1	25,31	1,21	4,80
2	18,04	1,07	5,92
3	14,28	0,67	4,70
4	12,88	0,84	6,54
5	14,71	0,87	5,90
6	14,44	1,23	8,49
7	11,70	0,37	3,20

Os valores dos teores de casca entre e dentro das árvores (sentido base-topo) é apresentado na Tabela 9

Tabela 9. Variação base-topo da percentagem de casca em volume (valores médios).

IDADE (anos)	REGIÃO				
	BASE	25% HC	50% HC	75% HC	100% HC
1	28,27	22,86	23,23	23,91	22,64
2	23,44	15,54	14,98	15,26	16,11
3	20,65	10,93	11,49	12,86	14,39
4	17,26	10,58	10,59	12,57	16,61
5	21,85	10,80	11,49	13,11	16,89
6	21,61	10,03	11,01	13,44	16,67
7	17,62	8,50	8,61	11,39	17,17

Figura 4 - Percentagem de casca em volume em diferentes idades.

Pela Figura 4 observa-se que a percentagem de casca em volume é elevada na base e no topo com valores mínimos entre 25 e 50% da altura.

Os valores médios das percentagens de casca em peso de *E. grandis* x *E. urophylla* para as diferentes são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios das percentagens de casca em peso de *E. grandis* x *E. urophylla* para as diferentes idades.

IDADE (anos)	% Casca em peso		
	Média	Desv. Padrão	Coef. Var. (%)
1	18,50	0,56	3,01
2	12,75	0,67	5,22
3	7,48	0,29	3,91
4	7,06	0,44	6,23
5	7,46	0,60	8,10
6	7,96	0,86	10,77
7	5,80	0,57	9,80

Os valores dos teores de casca entre e dentro das árvores (sentido base-topo) aparecem na Tabela 11.

Tabela 11. Variação base-topo da percentagem de casca em peso (valores médios).

IDADE (anos)	REGIÃO				
	BASE	25% HC	50% HC	75% HC	100% HC
1	19,68	17,51	17,62	17,99	12,34
2	15,02	11,86	10,91	11,71	13,06
3	10,17	5,88	6,17	7,19	8,77
4	8,88	5,92	6,07	7,26	9,73
5	10,77	5,54	5,82	6,81	9,84
6	11,24	5,97	6,25	7,48	9,72
7	8,48	4,28	4,34	5,78	9,35

Figura 5 - Percentagem de casca em peso em diferentes idades.

De um modo geral os teores de casca são mais elevados na base e a 100% da altura comercial com valores mínimos entre 25 e 50%.

4.2 Análise de dimensões das fibras

Os valores das dimensões das fibras são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Dimensões das madeiras para as diferentes idades.

IDADE	C	L	DL	E
1 ano	0,78	17,23	10,15	3,54
2 anos	1,01	19,43	10,85	4,29
3 anos	0,96	17,90	10,43	3,74
4 anos	1,18	19,85	11,23	4,31
5 anos	1,14	19,30	10,03	4,64
6 anos	1,15	18,40	9,70	4,35
7 anos	1,15	18,68	9,42	4,63

C = comprimento da fibra (mm)

L = largura da fibra (μm)

DL = diâmetro do lume (μm)

E = espessura da parede da fibra (μm)

Dos valores obtidos observa-se um incremento do comprimento, largura e espessura da parede das fibras, conforme o aumento da idade de 1 a 7 anos, enquanto que o diâmetro do lume mostrou uma tendência inversa.

A tendência dos valores do comprimento das fibras, embora apresentem diferenças entre as idades, concordando com os obtidos por Barrichelo & Brito (1976), Machado et al. (1988), Gamoeda (1988) e Frazão (1988) para várias espécies de eucalipto. Os valores variaram de 0,78 a 1,15 mm, para as idades de 1 a 7 anos respectivamente.

A largura das fibras apresentam uma pequena variação considerando os intervalos entre as idades, sendo de 17,23 e 19,85 μm , correspondente as idades de 1 e 4 anos de idade respectivamente. Estes valores são similares aos obtidos por Gamoeda (1988).

Os valores extremos encontrados para o diâmetro do lume variaram de 9,42 a 10,85 μm correspondendo as idades de 7 e 2 anos respectivamente.

Quanto a espessura da parede da fibra os valores variaram de 3,54 a 4,63 μm , para as idade de 1 e 7 anos respectivamente.

A largura das fibras e o diâmetro do lume foram menores e as espessuras de paredes maiores, para os tipos de madeira de maior densidade básica (Tabela 3), confirmando observações dos autores: Goddard & Cole (1966), Davidson (1972), Kellogg & Gonzalez (1976) e Wehr (1991).

Na Figura 6 são apresentados os valores das dimensões das fibras para as diferentes idades.

Figura 6 - Dimensões das fibras para diferentes idades.

Nota-se que com 4 anos de idade há uma tendência de estabilização do comprimento e espessura. Segundo Trugilho (1996), a estabilização no valor do diâmetro do lume está relacionado com a variação proporcional que ocorre na largura e na espessura da parede da fibra. Essas três características variam de forma proporcional refletindo que ocorre um aumento tanto no comprimento quanto na largura e na espessura da parede das fibras.

Observou-se que as dimensões das fibras para a idade de 3 anos estão fora da tendência esperada, apresentando valores mais baixos em relação as demais.

Observa-se que o aumento da densidade básica esta associado principalmente com o aumento da espessura da parede da fibra, associado também a uma redução do diâmetro do lume.

Os resultados obtidos para as relações entre as dimensões das fibras constam na Tabela 13.

Tabela 13. Relações entre as dimensões das fibras para as diferentes idades.

Idade	IR	IE	FP	CF
1 ano	0,724	44,59	42,00	58,00
2 anos	0,795	49,58	44,27	55,73
3 anos	0,768	52,54	43,45	56,55
4 anos	0,854	58,35	46,05	53,94
5 anos	0,974	60,76	49,34	50,65
6 anos	0,871	62,39	46,55	53,44
7 anos	1,053	60,45	51,28	48,72

IR = índice de Runkel

IE = índice de enfieltramento

FP = fração parede (%)

CF = coeficiente de flexibilidade (%)

Quanto aos valores dos índices observa-se que o índice de Runkel e da fração parede estão relacionados a espessura da parede, apresentando uma forte relação positiva ($r = 0,88$ e $0,98$ respectivamente) com o aumento da densidade da madeira. O coeficiente de flexibilidade mostra uma relação negativa ($r = -0,86$) com o aumento da densidade uma vez que depende do diâmetro do lume. Isso significa que quanto maior a espessura da parede, maior a densidade da madeira e, portanto, menor flexibilidade das fibras.

Os índices que dependem de forma direta do comprimento e da espessura da parede das fibras (índice de Runkel, índice de enfieltramento e coeficiente de flexibilidade) mostram um aumento conforme aumenta a idade. No

caso do coeficiente de flexibilidade que depende de forma direta do diâmetro do lume, observa-se uma queda de 1 até 7 anos de idade.

Todos estes valores encontram-se dentro da faixa como os mais recomendáveis para a produção de papel, Segundo Pacini (1978), Foelkel (1978), Gamoeda (1988) e Paula & Alves (1989), a madeira de boa qualidade para a produção de papel são aquelas que possuem coeficiente de flexibilidade acima de 50%, índice de Runkel 1,5 e peso específico até 0,6.

Segundo a literatura espera-se que a tendência destes índices seja refletidas num aumento dos valores de resistência do papel para as maiores idades (Foelkel & Barrichelo, 1975; Gomide et al. 1987; Machado et al. 1988).

4.3 Composição química da madeira

Os resultados para as análises químicas das madeiras para as diferentes idades estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Composição química das madeiras para as diferentes idades.

Idade	%Holocelulose	%Lig.	%Lig.	% Lig. Total	%Ext. Totais
		Insolúvel	Solúvel		
1 ano	64,73	26,07	2,92	28,99	6,28
2 anos	65,77	25,92	2,80	28,72	5,51
3 anos	68,75	25,06	2,37	27,43	3,82
4 anos	66,71	26,80	2,64	29,44	3,85
5 anos	65,62	24,77	2,95	27,72	6,66
6 anos	67,54	25,69	2,49	28,18	4,28
7 anos	69,90	25,07	2,31	27,38	2,72

Os valores de composição química estão de acordo com os descritos por Trugilho & Vital (1996) e próximos aos obtidos por Santos (2000).

Os teores de holocelulose apresentaram uma variação de 64,73% para 1 ano e 69,90% para 7 anos, sendo estes valores condizentes com os dados apresentados por Clarke et al. (1997), para as madeiras do gênero de *Eucalyptus* na qual varia entre 65 a 77%.

Os teores de lignina total para as idades de 7 e 4 anos variaram de 27,38 a 29,44% .

Entre as idades de 1 e 7 anos os teores de extrativos totais apresentaram uma grande amplitude sendo de 2,72 a 6,28%. Segundo Wehr (1991), estudando as alterações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* em diversas idades, encontrou teores médios de extrativos totais variando de 4,1 a 8,5% e verificou que esta ampla variação possui uma correlação positiva com a idade da árvore.

Os extrativos da madeira são de grande importância para a produção de celulose e papel, em razão, principalmente, de consumo de reagentes químicos, perda de rendimento, inibição de reações, incrustações em equipamentos, além de causar uma certa dificuldade no branqueamento.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentados os valores da composição química da madeira para as diferentes idades.

Figura 7 – Teores de holocelulose para as diferentes idades.

Figura 8 – Teores de lignina total para as diferentes idades.

Figura 9 – Teores de extrativos totais para as diferentes idades.

Observou-se que quanto menor for o teor de lignina, maior será a densidade básica da madeira ($r = -0,6$), conforme discutido por Barrichelo & Brito (1977), Trugilho et al. (1996) e Santos (2000).

A composição química não apresentou padrões definidos de variação com a idade.

4.4 Cozimentos

Os cozimentos experimentais adquirem grande importância prática, pois através destes ensaios obtêm-se valores próximos às condições encontradas na produção de celulose. Para a realização dos cozimentos, foram requeridas diferentes dosagens de álcali ativo que objetivaram atingir determinada variação no grau de deslignificação para as sete idades distintas de madeira. As dosagens empregadas foram apresentadas no Item 3.3.1..

As diferenças nas dosagens requeridas podem ser explicadas principalmente, pela composição química dos tipos de madeira que apresentam uma certa amplitude, principalmente nos extrativos totais (Item 4.2 na Tabela 8), densidade básica (Item 4.1 nas Tabelas 3 e 4) e ainda nas próprias dimensões dos cavacos obtidos manualmente, para as idades de 1 e 2 anos.

4.4.1 Efeito das Idades

4.4.1.2 Rendimento depurado

Na Tabela 15 e Figura 10 são apresentados os valores médios de rendimento depurados para as diferentes idades das árvores, baseado na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 15. Rendimento depurado e teste de Tukey para comparação de médias

Idade	Média (%)	Tukey
7 anos	56,10	a
5 anos	55,40	ab
3 anos	54,67	bc
4 anos	54,59	bc
6 anos	54,03	c
2 anos	51,88	d
1 ano	49,16	e

Figura 10 - Valores de rendimento depurado para diferentes idades.⁵

Através da análise de variância, verificou-se que há fortes indícios de que existem diferenças entre as médias do rendimento depurado para as diferentes idades das árvores.

Pelo teste de Tukey observa-se que o melhor rendimento depurado refere-se a idade de 7 anos (56,18%). As idades de 1 e 2 anos apresentaram os piores rendimentos (49,16% e 51,88% respectivamente) e as demais idades apresentaram um comportamento intermediário segundo esta análise (variando de 55,40 até 54,03%).

Observa-se a tendência de aumento de rendimento depurado com o aumento da idade. Nota-se a partir de 3 anos de idade um aumento relativamente pequeno do rendimento depurado quando comparado com às idades de 1 e 2 anos.

⁵ Nota: Valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

4.4.1.3 Teor de rejeitos

Na Tabela 16 e Figura 11 são apresentados os valores médios dos teores de rejeitos para as diferentes idades das árvores, baseados na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 16. Teores de rejeitos e teste de Tukey para comparação de médias.

Idade	Média (%)	Tukey
2 anos	2,24	a
1 ano	1,10	b
4 anos	0,28	c
5 anos	0,19	c
3 anos	0,09	c
6 anos	0,08	c
7 anos	0,06	c

Figura 11 - Valores dos teores de rejeitos para as diferentes idades.⁶

⁶ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Através da análise da variância verificou-se que há grandes probabilidades de que existam diferenças nos teores de rejeitos para as diferentes idades. Pelo teste de Tukey, pode-se afirmar que a idade de 2 anos foi a que apresentou maior percentagem de rejeitos (2,24%), seguido da idade de 1 ano (1,10%). As demais idades não mostraram diferenças entre si (variando de 0,6 até 0,28%).

Os teores de rejeitos foram mais elevados para as idades de 1 e 2 anos. Tais idades apresentaram alto valor de extrativos o que, eventualmente, pode ter interferido na reação de deslignificação. Outro fator que pode ter colaborado para os altos valores de rejeitos para as idades de 1 e 2 anos é que os mesmos foram obtidos manualmente, podendo ter uma maior variação nas dimensões do que os cavacos obtidos através de picador industrial.

4.4.1.4 Número Kappa

Os valores médios do número Kappa para as diferentes idades das árvores estão apresentados na Tabela 17 e Figura 12, baseado na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 17. Número Kappa e teste de Tukey para comparação de médias

Idade	Média	Tukey
1 ano	21,41	a
2 anos	21,04	ab
3 anos	16,78	b
4 anos	16,71	b
5 anos	16,03	b
6 anos	15,86	b
7 anos	15,62	b

Figura 12 - Valores de número Kappa para diferentes idades.⁷

O teste F da análise de variância (ao nível de 5% de probabilidade) detecta que existem diferenças significativas entre pelo menos duas dentre as médias para o número Kappa.

Pelo teste de Tukey, observa-se que os números Kappa desde os 3 até 7 anos de idade são iguais estatisticamente (16,78 e 15,62 respectivamente) e inferiores aos obtidos com as idades de 1 e 2 anos (21,41 e 21,04 respectivamente).

Nota-se que para as idades de 1 e 2 anos houve uma menor deslignificação comparando com as demais idades. Isto está relacionado ao fenômeno ocorrido com os teores de rejeitos no sentido que os altos teores de extrativos para estas idades podem ter interferido no processo de remoção de lignina das fibras.

⁷ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

4.4.1.5 Relação rendimento depurado/Kappa

São apresentados os valores médios da relação rendimento depurado/Kappa para as diferentes idades das árvores, na Tabela 18 e Figura 13, baseado na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 18. Relação rendimento depurado/Kappa e teste de Tukey para comparação de média

Idade	Média	Tukey
7 anos	3,62	a
5 anos	3,58	ab
3 anos	3,47	abc
4 anos	3,30	bc
6 anos	3,23	c
2 anos	2,56	d
1 ano	2,40	d

Figura 13 - Valores da relação rendimento depurado/Kappa.⁸

⁸ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Através da análise de variância, verificou-se que existe diferença entre pelo menos duas dentre as médias da relação RD/Kappa para as diferentes idades das árvores.

A fim de encontrar a diferença entre estas médias foi realizado o teste de Tukey de comparação de médias. Segundo este teste, pode-se afirmar que os valores mais altos da relação rendimento depurado/Kappa correspondem às idades de 7, 3 e 5 as quais são estatisticamente iguais entre si (3,62; 3,58 e 3,47 respectivamente). Os valores mais baixos foram obtidos com as idades de 1 e 2 anos (2,4 e 2,53 respectivamente). As idades de 4 a 6 apresentaram valores intermediários (3,30 e 3,23 respectivamente).

A tendência é que até 3 anos a relação rendimento depurado/Kappa aumente, mantendo-se constante a partir deste ponto até os 7 anos. Esta tendência é a mesma que a apresentada pelo rendimento depurado sendo que, ocorre o inverso em relação ao número Kappa. A madeira a partir de 3 anos de idade produz maior rendimento em celulose por cada unidade de lignina residual da polpa, do que as idades de 1 e 2 anos, indicando uma deslignificação mais favorável para as idades mais avançadas.

4.4.2 Efeito da carga do álcali ativo

4.4.2.1 Rendimento depurado

Os valores médios de rendimento depurado relacionado as diferentes cargas de álcali ativo são apresentados na Tabela 19 e Figura 14, baseada na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 19. Rendimento depurado e teste de Tukey para comparação de médias

Tratamento	Média	Tukey
13	54,88	a
14	54,51	ab
15	52,91	b
16	52,73	c
17	52,42	c

Figura 14 - Valores de rendimento depurado para as diferentes cargas de álcali ativo.⁹

De acordo com o teste F da análise da variância, observa-se que existem diferenças ao nível de 5% de probabilidade, entre os valores de rendimento depurado para as diferentes cargas de álcali ativo.

A fim de encontrar a diferença entre os valores de rendimento para as cargas de álcali foi realizado o teste de Tukey de comparação de médias. Através desse pode-se afirmar que os valores mais altos e significativamente diferentes das demais, quanto ao rendimento depurado, correspondem às cargas de 13 e 14% de

⁹ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

álcali ativo (ambas com 55%). Os menores valores foram obtidos pelas cargas de 16 e 17% de álcali ativo (53 e 52%, respectivamente). A carga de 15% apresentou um valor intermediário (54%).

Esta tendência é devida a uma maior carga de álcali ativo que provoca maior degradação de parte dos polissacarídeos. Observa-se que acima de 15% de álcali ativo tem-se uma queda no rendimento depurado conforme resultados obtidos por Foelkel, (1974); Foelkel, (1976); Machado et al., (1987); Machado et al., (1988); Ferreira et al. (1997); Almeida & Silva, (2001); Miranda et al., (2001).

4.4.2.2 Teor de rejeitos

São apresentados os valores médios dos teores de rejeito para diferentes cargas de álcali ativo, na Tabela 20 e Figura 15, baseada na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 20. Teores de rejeitos e teste de Tukey para comparação de médias

Tratamento	Média	Tukey
13	0,94	a
14	0,93	a
15	0,39	b
16	0,34	b
17	0,28	b

Figura 15 - Teores de rejeitos para as diferentes cargas de álcali ativo.¹⁰

De acordo com o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, conclui-se que há grande probabilidade de que existam diferenças entre as cargas de álcali ativo em relação ao teor de rejeitos.

Através deste teste, pode-se afirmar que os valores mais altos e significativamente diferentes dos demais quanto ao teor de rejeitos, correspondem às cargas de álcali de 13 e 14% (ambos com 0,9%). As demais cargas de álcali ativo entre 15 e 17% não mostraram diferenças entre si (variando de 0,39 até 0,28%). A maior carga de álcali ativo favoreceu a redução de teor de rejeito e acima de 15% de álcali ativo demonstrou uma redução nos teores de rejeitos. Em todos os casos os teores de rejeitos foram considerados relativamente baixos, indicando que as quantidades de álcali ativo foram suficientes para uma boa deslignificação.

¹⁰ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

4.4.2.3 Número Kappa

Na Tabela 21 e Figura 16 são apresentados os valores médios do número Kappa para diferentes cargas de álcali ativo, baseado na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 21. Número Kappa e teste de Tukey para comparação de médias

Tratamento	Média	Tukey
13	21,14	a
14	19,58	ab
15	16,64	b
16	15,49	b
17	15,43	b

Figura 16 - Valores do número Kappa para as diferentes cargas de álcali ativo.¹¹

¹¹ Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

O teste F da análise de variância (ao nível de 5% de probabilidade) detecta que existem diferenças significativas entre os valores do número Kappa para as diferentes cargas de álcali ativo.

Pelo teste de Tukey, a carga de álcali de 13% apresentou um maior número Kappa (21,14). A carga de álcali de 14% demonstrou um valor intermediário (correspondendo a 19,48). As demais cargas de álcali não mostraram diferenças entre si (variando de 16,64 até 15,43).

Os baixos valores de número kappa encontrados para madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* devem estar relacionados à maior carga alcalina utilizada no cozimento, causando uma degradação mais intensa dos carboidratos. O maior número kappa encontrado é decorrente do menor teor de álcali ativo (13%) utilizado no cozimento da madeira, o que propiciou um cozimento mais “brando”. (De Souza et al., 1983; Machado et al., 1988; Silva Júnior, 1994; Ferreira et al., 1997; Carvalho, 2000; Santos, 2000; Miranda et al. 2001).

4.4.2.4 Relação RD/Kappa

Na Tabela 22 e Figura 17 são apresentados os valores médios da relação rendimento depurado/Kappa para diferentes cargas de álcali ativo, baseado na Tabela 1 do ANEXO 2.

Tabela 22. Relação RD/Kappa e teste de Tukey para comparação de médias

Tratamento	Média	Tukey
16	3,43	a
17	3,42	a
15	3,28	a
14	2,92	b
13	2,75	b

Figura 17 - Valores da relação RD/Kappa para as diferentes cargas de álcali ativo.¹²

De acordo com o teste F da análise de variância, observa-se que existem diferenças ao nível de 5% de probabilidade entre a relação RD/Kappa nas diferentes cargas de álcali ativo.

Pelo teste de Tukey, não há indícios para afirmar que a média da relação RD/Kappa para as cargas de álcali 15%, 16% e 17% diferem-se entre si (sendo os seus valores respectivamente de 3,28, 3,43 e 3,42), assim como, as cargas de álcali de 13 e 14% não diferiram entre si (2,75 e 2,92 respectivamente).

Concordando com o obtido por Silva Júnior (1994) avaliando *E.grandis*, observou-se que apesar de ocorrerem quedas no rendimento depurado quanto no número Kappa para valores de carga de álcali ativo acima de 15%, por sua vez ocorre uma maior relação RD/kappa do que para valores de carga de álcali ativo inferiores a este. Tal fato está associado uma redução mais acentuada do número Kappa mais acentuada do que a redução do rendimento depurado para valores de carga acima de 15%, indicando uma deslignificação mais favorável neste intervalo de valores.

4.4.3 Idade x Carga de Álcali Ativo

Os resultados das análises de rendimentos depurados e números Kappa relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades são apresentados e na Tabela 2 do ANEXO 3.

A Figura 18 apresenta os resultados das análises de rendimentos depurados relacionados com as cargas de álcali ativo para diferentes idades.

Figura 18 – Valores de rendimento depurado relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.

Observa-se que de modo geral todas as idades apresentaram um comportamento muito influenciado pela carga de álcali ativo, indicando uma possível interação entre as idades e as cargas de álcali ativo.

Para todas as idades observa-se uma tendência de decréscimo no rendimento depurado a medida que aumenta-se a carga de álcali ativo.

Observou-se que as idades de 3, 5, 6 e 7 anos apresentaram os valores mais altos de rendimento depurado e relativamente próximos entre si para todas as

¹² Nota: valores com igual letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

cargas de álcali ativo. As idades de 1 e 2 anos mostraram uma maior queda no rendimento depurado conforme o aumento da carga de álcali ativo.

Comparativamente a idade de 7 anos foi que apresentou o melhor resultado, considerando todas as cargas de álcali ativo. Notou-se que a idade de 4 anos apresentou mais estável quanto a variação da carga de álcali ativo. Os melhores rendimentos depurados foram obtidos com baixa carga de álcali ativo a partir dos 4 anos de idade.

Para as idades de 1 e 2 anos observou-se um comportamento diferente dos demais em relação da carga de álcali ativo correspondente a 14%, uma vez que constatou-se um aumento enquanto os demais nesta faixa demonstraram uma queda.

As cargas de álcali ativo que apresentaram os melhores resultados foram as de 13 e 14% enquanto que os rendimentos mais baixos foram obtidos com as cargas correspondentes a 16 e 17%, independente da idade.

Na Figura 19, são apresentados os rendimentos depurados e números Kappa relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.

Figura 19 - Rendimentos depurados e números Kappa relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.

Na Tabela 23 e Figura 20 são apresentados os valores de rendimento depurado estimados para um número Kappa 15 a partir de modelo de regressão ajustados para cada uma das idades.

Tabela 23. Valores de rendimentos depurado estimados para um número kappa 15 a partir de modelos de regressões¹³ ajustados para cada uma das idades.

IDADE	R ²	RD ₁₅
1 ano	0,671	47,95
2 anos	0,835	48,50
3 anos	0,973	53,81
4 anos	0,778	53,94
5 anos	0,581	54,90
6 anos	0,756	53,60
7 anos	0,819	56,70

R² = coeficiente de determinação

RD₁₅ = rendimento depurado interpolado para número Kappa = 15

Figura 20 – Rendimento depurado estimados para um número Kappa 15 a partir de modelos de regressões ajustados para cada uma das idades.

¹³ Os coeficientes de regressão para cada uma das idades são apresentados na Tabela 3 ANEXO 4.

Existe uma tendência do rendimento depurado a número kappa 15 crescer com o aumento da idade. Na idade de 2 anos para 3 anos observa-se um salto pronunciado. A partir de 3 anos este crescimento é notado, porém, de forma mais suave mantendo-se constante até aos 7 anos de idade, com exceção aos 6 anos, quando ocorreu uma segunda redução.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

- a) As densidades básicas médias das árvores possuem uma relação positiva com a idade.
- b) As densidades básicas médias das árvores determinadas através de discos se mostraram altamente correlacionadas com as densidades dos cavacos.
- c) O modelo de variação longitudinal para densidade básica da árvore é semelhante para todas as idades com valores mais elevados na base e valores mínimos entre 25 e 50% da altura comercial.
- d) Os modelos de variação da percentagem de casca (volume e peso), no sentido base-topo, foram semelhantes aos obtidos para densidade básica e independentes da idade do material.
- e) Quanto às dimensões das fibras, para comprimento e espessura das paredes das fibras, notou-se uma tendência definida de aumento conforme o aumento da idade. As outras dimensões, largura e diâmetro do lume, não apresentaram modelos definidos de variação com idade.

- f) Todos os índices calculados em relação as dimensões das fibras encontraram-se dentro da faixa citada em literatura, considerados de boa qualidade para produção de papel.
- g) A composição química não apresentou padrões definidos de variação com a idade.
- h) Notou-se quanto aos parâmetros da polpação um efeito diferenciado de cada uma das idades para as distintas cargas de álcali ativo. Os melhores resultados foram obtidos com baixa carga de álcali ativo (13 e 14%) a partir da idade de 4 anos. A influência da carga alcalina, independentemente da idade do material, mostrou-se uma tendência de reduzir o rendimento depurado e respectivo número Kappa.
- i) Pelos resultados obtidos pode-se concluir pela viabilidade de se avaliar a madeira do presente híbrido, aos 4 anos de idade visando-se a seleção precoce para estudos tecnológicos de produção de celulose.

ANEXOS

ANEXO 1

Determinação Simultânea de Extrativos Totais, Lignina e Holocelulose

Laboratório de Química, Celulose e Energia

Departamento de Ciências Florestais

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo

Determinação Simultânea de Extrativos Totais, Lignina e Holocelulose

1. Pesar o equivalente a 1g absolutamente seco (a. s.) de serragem e transferir para saquinho de papel de filtro.
2. Colocar a amostra no corpo do extrator.
3. Fazer a extração com álcool-tolueno (1:2) e álcool 96º GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração.
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição.
5. Transferir toda serragem do saquinho para erlenmeyer de 250 ml.
6. Adicionar 100 ml de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria (que já deverá estar fervendo) e cobri-lo com um copo de 50 ml.
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos.
8. Após 3 horas filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho.
9. Lavar (descontinuamente) o cadinho com 250 ml de água quente (quase fervendo).
10. Mantê-lo na estufa até peso constante (normalmente deixa-se de um dia para outro).
11. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em dessecador e pesar.
12. Calcular a percentagem de "Extrativos Totais" através da expressão:
$$\% ET = (1 - \text{peso a. s. serragem}) \times 100$$
13. Utilizando-se a mesma serragem do cadinho transferi-la para copo de 50 ou 100ml.
14. Resfriar o H_2SO_4 72% a 10 – 12°C.

15. Adicionar 15 ml de H_2SO_4 72% para o copo e mantê-lo no banho de água a 18 – 20°C.
16. Agitar e manter no banho durante 2 horas. Homogeneizar periodicamente e manter o bastão dentro do copo.
17. Após 2 horas transferir para erlenmeyer de 1 litro usando 560 ml de água destilada.
18. Ferver durante 4 horas mantendo constante o nível do erlenmeyer por adição periódica de água destilada.
19. Após 4 horas deixar a lignina sedimentar totalmente (equivale a deixar de um dia para outro).
20. Filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho.
21. Lavar o erlenmeyer com água quente (quase fervendo).
22. Lavar a lignina do cadinho com 250 ml água quente (quase fervendo).
23. Mantê-lo na estufa até peso constante (normalmente deixa-se de um dia para outro).
24. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em Dessecador e pesar.
25. Calcular a porcentagem de lignina através da expressão:
 $\% \text{ Lignina} = \text{Peso a. s. de resíduo} \times 100$
26. Calcular a porcentagem de holocelulose através da expressão:
 $\% \text{ Holocelulose} = 100 - (\% \text{ ET} - \% \text{ Lignina})$

ANEXO 2

Tabela 1. Resultados das análises: rendimento bruto, rendimento depurado, número Kappa, teor de rejeito, relação rendimento depurado/Kappa.

Condições			Variáveis respostas									
Idade (anos)	AA (%)	Repetição	RB (%)	$\bar{X}$ RB (%)	RD (%)	$\bar{X}$ RD (%)	Kappa	$\bar{X}$ kappa	TR	$\bar{X}$ TR	RD/K	$\bar{X}$ RD/K
1	13	1	51,2		50,9		30,9		0,32		1,48	
1	13	2	52,4	51,8	49,5	50,2	29,7	30,3	2,95	1,64	1,67	1,58
1	14	1	52,0		50,1		25,7		1,90		1,95	
1	14	2	54,0	53,0	51,4	50,8	23,1	24,4	2,62	2,26	2,23	2,09
1	15	1	49,5		48,6		19,1		0,85		2,54	
1	15	2	50,2	49,9	49,8	49,2	18,5	18,8	0,38	0,62	2,69	2,62
1	16	1	49,4		48,4		17,9		1,02		2,70	
1	16	2	46,9	46,9	46,5	47,5	15,5	16,7	0,44	0,73	3,00	2,85
1	17	1	48,3		48,1		15,8		0,20		3,04	
1	17	2	48,6	48,5	48,3	48,2	17,9	16,9	0,33	0,27	2,70	2,87
2	13	1	56,0		53,8		27,7		2,19		1,94	
2	13	2	55,1	55,6	50,7	52,3	29,5	28,6	4,42	3,31	1,72	1,83
2	14	1	57,5		54,5		23,7		3,08		2,30	
2	14	2	57,1	57,3	53,9	54,2	25,5	24,6	3,12	3,10	2,11	2,21
2	15	1	52,5		51,2		19,2		1,32		2,67	
2	15	2	53,6	53,1	51,9	51,6	19,1	19,2	1,73	1,53	2,72	2,70
2	16	1	52,3		49,8		18,3		2,42		2,72	
2	16	2	52,1	52,2	51,2	50,5	17,0	17,7	0,87	1,65	3,01	2,87
2	17	1	53,4		51,6		16,2		1,83		3,18	
2	17	2	51,6	52,5	50,2	50,9	17,2	16,7	1,42	1,63	2,92	3,05
3	13	1	56,4		56,4		18,7		0,08		3,02	
3	13	2	57,5	57,0	57,3	56,9	17,3	18,0	0,15	0,12	3,31	3,17
3	14	1	55,0		54,8		16,4		0,15		3,34	
3	14	2	55,9	55,5	55,7	55,3	17,0	16,7	0,20	0,18	3,28	3,31
3	15	1	54,4		54,3		16,2		0,09		3,35	
3	15	2	55,1	54,8	55,1	54,7	14,8	15,5	0,03	0,06	3,72	3,54
3	16	1	52,9		52,8		14,3		0,10		3,69	
3	16	2	53,9	53,4	53,8	53,3	14,6	14,5	0,04	0,07	3,68	3,69
3	17	1	53,5		53,4		14,5		0,06		3,68	
3	17	2	53,1	53,3	53,1	53,3	14,8	14,7	0,00	0,03	3,59	3,64

Tabela 1. Resultados das análises: rendimento bruto, rendimento depurado, número Kappa, teor de rejeito, relação rendimento depurado/Kappa.

4	13	1	55,7		54,6		19,5		1,19		2,80	
4	13	2	56,8	56,3	55,8	55,2	17,9	18,7	1,04	1,12	3,12	2,96
4	14	1	55,4		55,3		19,3		0,12		2,86	
4	14	2	55,9	55,7	55,9	55,6	18,7	19,0	0,00	0,06	2,99	2,93
4	15	1	54,6		54,6		16,4		0,01		3,33	
4	15	2	55,0	54,8	54,8	54,7	15,0	15,7	0,15	0,08	3,65	3,49
4	16	1	53,6		53,4		14,9		0,21		3,58	
4	16	2	54,6	54,1	54,6	54,0	14,6	14,8	0,05	0,13	3,74	3,66
4	17	1	53,7		53,7		15,2		0,01		3,53	
4	17	2	53,2	53,5	53,2	53,5	15,6	15,4	0,02	0,02	3,41	3,47
5	13	1	56,4		56,3		17,7		0,10		3,18	
5	13	2	58,3	57,4	58,1	57,2	16,4	17,1	0,24	0,17	3,54	3,36
5	14	1	55,8		54,7		19,3		1,17		2,84	
5	14	2	55,3	55,6	55,2	55,0	17,2	18,3	0,09	0,63	3,21	3,03
5	15	1	55,2		55,1		16,0		0,04		3,44	
5	15	2	56,9	56,1	56,7	55,9	15,6	15,8	0,14	0,09	3,63	3,54
5	16	1	54,1		54,0		14,6		0,04		3,70	
5	16	2	55,6	54,9	55,5	54,8	15,4	15,0	0,07	0,06	3,60	3,65
5	17	1	54,3		54,3		14,2		0,01		3,82	
5	17	2	54,1	54,2	54,1	54,2	13,9	14,1	0,01	0,01	3,89	3,86
6	13	1	55,9		55,9		18,3		0,05		3,05	
6	13	2	54,5	55,2	54,4	55,2	17,8	18,1	0,17	0,11	3,06	3,06
6	14	1	54,7		54,6		17,5		0,04		3,12	
6	14	2	54,2	54,5	54,1	54,4	17,7	17,6	0,11	0,08	3,06	3,09
6	15	1	54,2		54,2		16,0		0,02		3,39	
6	15	2	54,9	54,6	54,8	54,5	17,0	16,5	0,04	0,03	3,22	3,31
6	16	1	53,2		53,0		15,9		0,10		3,33	
6	16	2	54,6	53,9	54,5	53,8	15,4	15,7	0,03	0,07	3,54	3,44
6	17	1	52,6		52,6		15,8		0,02		3,33	
6	17	2	52,2	52,4	52,2	52,4	16,4	16,1	0,00	0,01	3,18	3,26
7	13	1	57,2		57,1		17,9		0,14		3,19	
7	13	2	57,6	57,4	57,5	57,3	16,7	17,3	0,07	0,11	3,44	3,32
7	14	1	56,7		56,3		16,7		0,39		3,37	
7	14	2	56,6	56,7	56,6	56,5	17,9	17,3	0,01	0,20	3,16	3,27
7	15	1	56,6		56,6		15,1		0,00		3,75	
7	15	2	57,1	56,9	57,1	56,9	15,0	15,1	0,02	0,01	3,81	3,78
7	16	1	54,7		54,6		14,1		0,02		3,87	
7	16	2	56,1	55,4	56,1	55,4	14,3	14,2	0,04	0,03	3,92	3,90
7	17	1	54,1		54,0		14,6		0,06		3,70	
7	17	2	55,1	54,6	55,1	54,6	13,9	14,3	0,00	0,03	3,96	3,83

AA = Álcali ativo

RB = Rendimento bruto

X RB = Média do rendimento bruto

RD = Rendimento depurado

X RD = Média do rendimento depurado

Kappa = Número Kappa

TR = Teor de rejeito

X TR = Média do teor de rejeito

RD/K = Relação rendimento depurado/número Kappa

X RD/K = Média da relação rendimento depurado/número Kappa

ANEXO 3

Tabela 2. Resultados médios das análises de rendimentos depurados e números Kappa relacionados com teores de álcali ativo para diferentes idades.

IDADE	AA - 13%		AA - 14%		AA - 15%		AA - 16%		AA - 17%	
	RD	Nº K	RD	Nº K	RD	Nº K	RD	Nº K	RD	Nº K
1 ano	50,2	30,3	50,8	24,4	49,2	18,8	47,5	16,7	48,2	16,9
2 anos	52,3	28,6	54,2	24,6	51,6	19,2	50,5	17,7	50,9	16,7
3 anos	56,9	18,0	55,3	16,7	54,7	15,5	53,3	14,5	53,3	14,7
4 anos	55,2	18,7	55,6	19,0	54,7	15,7	54,0	14,8	53,5	15,4
5 anos	57,2	17,1	55,0	18,3	55,9	15,8	54,8	15,0	54,2	14,1
6 anos	55,2	18,1	54,4	17,6	54,5	16,5	53,8	15,7	52,4	16,1
7 anos	57,3	17,3	56,7	17,3	56,9	15,1	55,4	14,2	54,6	14,3

AA = Álcali ativo

RD = Rendimento depurado

Nº K = Número Kappa

ANEXO 4

Tabela 3. Modelos de regressões propostos para rendimento depurado e números Kappa e valores interpolados para Kappa = 15.

Idade	Modelos de Regressões
1 ano	$Y = 0,1213x^2 - 8,4121x + 141,47$
2 anos	$Y = -0,0602x^2 + 2,9232x$
3 anos	$Y = 0,9583x - 36,541$
4 anos	$Y = 2,0306x - 94,151$
5 anos	$Y = 0,6938x + 44,512$
6 anos	$Y = 0,0252x^2 - 0,3902x + 53,819$
7 anos	$Y = -0,6699x^2 + 21,746x - 118,8$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M.; SILVA, D. J. Efeito da quantidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação Kraft de clones de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34., São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 2001. p.1-14.
- ANDRADE, M. C. S. Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex maidem. Botucatu, 1987. 43p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista.
- BAREFOOT, A. C. The relationship between loblolly pine fiber morphology and Kraft paper properties. **North Carolina, Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin**, n.202, p.1-88, 1970.
- BAREFOOT, A. C. *et al.* Wood characteristics and kraft properties of four selected loblolly pines, III. Effect of fiber morphology in pulps examined at constant permanganate number. **Tappi**, v.49, n.4, p.137-147, 1966.

- BARRICHELO, L. E. G. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. Var. *hondurensis* Barr. Golf. Para a produção de celulose Kraft. Piracicaba, 1979. 167p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 17., São Paulo, 1984. **Trabalhos apresentados**. São Paulo: ABTCP, 1984. v.2. p.403-409.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a Indústria de Celulose e Papel. **Série Divulgação PRODEPEF**, n.45, p.1-145, 1976.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; COUTO, H. T. Z. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, v.8, n.32, p.802-808, 1983.
- BARRICHELO, L. E. G.; NARIYOSHI, A. H.; BEIG, O. et al. Variações das características da madeira de eucalipto para diferentes espécies, idades e locais. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 17., São Paulo, 1984. **Trabalhos apresentados**. São Paulo: ABTCP, 1984. v.2, p.385-399.
- BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., Montreal, 1990. **Proceedings**. Ottawa: Acart Graphic, Division 5, 1990. p.139-147.
- BOLAND, D. J. **Forest trees of Australia**. 4.ed., Melbourne: CSIRO, 1994. 703p.

- BRIGATTI, R. A.; FERREIRA, M.; SILVA, A. P.; et al. Estudo comparativo do comportamento de alguns híbridos de *Eucalyptus* spp. **Circular Técnica IPEF**, n.123, p.1-7, 1980.
- BUSNARDO, C. A. Estudos sobre a deslignificação da madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida pelo processo kraft, para produção de celulose. Viçosa, 1981. 251p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- CAMPINHOS, E. N. Análise de QTL's em *Eucalyptus grandis*: estabilidade da expressão, mapeamento, localização e preservação de folhas para análise RAPD. Viçosa, 1996. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- CARVALHO, A. M. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. Piracicaba, 2000. 129p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.
- CLARKE, C. R. E.; WESSELS, A. M. Variation and measurements of pulp properties in *Eucalyptus*. In: IUFRO WORLD CONGRESS, Hobart, 1995. **Proceedings**. Hobart, 1995. IUFRO, 1995. v.1, p.93-100.
- FERREIRA, M.; FREITAS M. de; FERREIRA, C. A. Densidade da madeira de plantações comerciais de *Eucalyptus* spp, na região de Mogi-Guaçu (SP). **IPEF**, n.18, p.106-117, 1979.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; GARCIA, W. et al. Celulose Kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n.12, p.127-42, 1976.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 8., São Paulo, 1975. **Trabalhos técnicos**. São Paulo ABTCP, 1975. p 15-20.

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. et al.. Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **Cenibra Pesquisa**, n.68, p. 1-31, 1978.

GAIOTO, M. R. Influência da idade e do espaçamento na qualidade da madeira para a produção de papel e celulose. In: SEMINÁRIO DE QUALIDADE DA MADEIRA, Piracicaba, 1991. Piracicaba: IPEF, 1991. **Anais**. Piracicaba: IPEF, 1991.

GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; et al. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de 13 espécies de eucalipto. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., São Paulo, 1983. **Trabalhos técnicos**. São Paulo: ABCP, 1983. v.1, p.7-29.

GOODWIN-BAILEY, C. J. **Relationship between anatomical and end use properties of the wood of selected tropical pines**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1989. p. 8-15.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K. et al. Disponibilidade de matéria-prima fibrosa florestal para a indústria celulósico-papeleira no estado de São Paulo. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL ABTCP, 34., São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 2001. p.1-14.

- MALAN, F. S.; ARBUTHNOT, A. L. The interrelationships between density and fiber properties of South Africa Grown *Eucalyptus grandis*. In: CRCTHF/IUFRO WORLD CONGRESS, 24., Hobart, 1995. **Proceedings**. IUFRO, 1995. p.116-120.
- MALLAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. São Paulo: IPEF; IPT, 1995. p.1–19.
- MARTINS, F. C. G.; IKEMORI, Y. K. Produção de híbridos de eucalipto na Aracruz. In: REUNIÃO SOBRE TÉCNICAS PARA PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS, Piracicaba, 1987. Piracicaba: IPEF, 1987. p. 48-62.
- NIELSEN, I. R. Utilização da madeira comercial do híbrido de *eucalyptus grandis* na confecção de vigas laminadas coladas. Curitiba, 1998. 109p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: Macgraw-Hill, 1970. v.1, 905p.
- REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, n.30, p.37–41, 1985.
- RUY, O. F. Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia. Piracicaba, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- SANTOS, C. R. Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de deleção de árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ. Piracicaba, 2000. 117p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P. E. T. Subsídios para aplicação do melhoramento genético visando a qualidade da madeira de *Pinus*. **Série Técnica IPEF**, v.9, n.27, p.1-29, 1993.
- SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 24., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1991 p.23-26.
- SILVA JÚNIOR, F. G.; BRAGA, E. P.; Potencialidade da seleção precoce de *Eucalyptus urophylla* em função da qualidade da madeira destinada à produção de celulose. CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., São Paulo, 1997. **Trabalhos apresentados**. São Paulo: ABTCP, 1997. p.281-92.
- TRUGILHO, F. P.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.2, n.1, p.94-111, 1996.
- VAN BUIJTEN, J. P. Relationships between wood properties and pulp and paper properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2., Washington, 1969. **Proceedings**. Washington, 1969.

WEHR, T. R. Variações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex- Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos Kraft. Piracicaba, 1991. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.