Dissertação de Mestrado

CELULOSE KRAFT PRODUZIDA A PARTIR DAS MADEIRAS DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella*) E EUCALIPTO (*Eucalyptus saligna*) MISTURADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES

Rafael Hardt Araujo

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2004

CELULOSE KRAFT PRODUZIDA A PARTIR DAS MADEIRAS DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella*) E EUCALIPTO (*Eucalyptus saligna*) MISTURADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES

por

Rafael Hardt Araujo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de

Mestre em Engenharia Florestal

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2004

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

CELULOSE KRAFT PRODUZIDA A PARTIR DAS MADEIRAS DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella*) E EUCALIPTO (*Eucalyptus saligna*) MISTURADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES

Elaborado por
Rafael Hardt Araujo

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Celso E. B. Foelkel
(Presidente/Orientador)

_____
Francides Gomes

_____
Clovis Haselein

Santa Maria, 30 abril 2004

A663 c

Araujo, Rafael Hardt

Celulose Kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (Mimosa scabrella) e eucalipto (Eucalyptus saligna) misturadas em diferentes proporções / por Rafael Hardt Araújo; orientador Celso E. B. Foelkel. – Santa Maria, 2004.
Xiv,

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004

1. Engenharia florestal 2. Celulose Kraft 3. Bracatinga 4. Eucalipto 5. Deslignificação 6. Branqueamento l. Foelkel, Celso Edmundo Bochetti, orient. II

CDU: 630.86

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/ UFSM

AGRADECIMENTOS

A todos que de uma maneira direta ou indiretamente auxiliaram na elaboração desse trabalho em especial a:

- Universidade Federal de Santa Maria por proporcionar o curso e disponibilizar as instalações;
- CAPES pela ajuda financeira através de bolsa de estudo;
- Klabin Riocell S.A. pelo suporte técnico e o uso de suas instalações laboratoriais;
- Afubra representada por Jorge Antonio de Farias, pela oportunidade de obtenção das madeiras de bracatinga e principalmente pela amizade;
- Rute Berger por fornecer amostras de eucalipto e também pelo companheirismo e amizade;
- Prof. Umberto Klock da Universidade Federal do Paraná, pela ajuda e disposição em fornecer materiais de estudo;
- funcionários consultores e estagiários do Laboratório Tecnológico da Klabin Riocell S.A., pelo auxilio, amizade e apoio, em especial a Patrícia Oliveira e Andressa P. Oliveira;
- professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM;
- professora Sonia Frizzo pela orientação, confiança, amizade e compreensão;
- e em especial a Celso E. B. Foelkel pela orientação, confiança, amizade, compreensão, dedicação e incentivo.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	**ix**
LISTA DE TABELAS	**x**
RESUMO	**xii**
ABSTRACT	**xiv**
1 INTRODUÇÃO	**1**
2 REVISÃO DE LITERATURA	**5**
2.1 Características das espécies estudadas	**5**
2.1.1 Bracatinga	5
2.1.1.1 Aspectos botânicos e ecológicos	5
2.1.1.2 Sistemas agroflorestais	7
2.1.1.3 Produtividade da bracatinga	8
2.1.1.4 Características tecnológicas da madeira e da celulose de bracatinga	10
2.1.2 Eucalipto	13
2.1.2.1 Aspectos botânicos e ecológicos	13
2.1.2.2 Produção de celulose com eucalipto	15
2.2 O uso da madeira para a produção de celulose	**16**
2.3 Uso de misturas de madeira na produção de celulose	**18**
3 MATERIAL E MÉTODOS	**20**
3.1 Amostragem	**20**
3.1.1 Bracatinga	20
3.1.2 Eucalipto	21
3.2 Preparo das amostras	**21**
3.3 Determinações dendrométricas	**22**
3.3.1 Volume comercial	22
3.3.2 Densidade básica	23
3.3.3 Peso seco da madeira comercial da árvore	24
3.4 Análises químicas das madeiras	**25**
3.4.1 Lignina	25
3.4.2 Cinzas	25
3.4.3 Extrativos em diclorometano	26

3.4.4 Extrativos em álcool tolueno 26
3.5 Cozimentos kraft **26**
3.5.1 Condições dos cozimentos 27
3.5.2 Avaliação do licor de cozimento 28
3.5.3 Rendimentos em celulose 29
3.5.4 Análises efetuadas na polpa após o cozimento 29
3.6 Determinação do número kappa **30**
3.7 Determinação da alvura **30**
3.8 Determinação da solubilidade em NaOH a 5% (S_5) **30**
3.9 Determinação da viscosidade intrínseca **31**
3.10 Deslignificação alcalina com oxigênio molecular **31**
3.11 Branqueamento **32**
3.11.1 Estágio D_1 33
3.11.2 Estágio E_o 34
3.11.3 Estágio D_2 35
3.11.4 Estágio SO_2 35
3.11.5 Análises efetuadas na polpa branqueada 36
3.12 Refino e ensaios físico-mecânicos da celulose branqueada **36**
3.12.1 Condições de refino no refinador PFI 37
3.12.2 Formação de folhas 37
3.12.3 Testes físico-mecânicos e óticos 38
3.13 Dimensões das fibras e vasos na celulose branqueada **39**
3.14 Valor de retenção de água (*Water retention value* - WRV) **39**
3.15 Análises estatísticas dos resultados. **40**
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **41**
4.1 Análises dendrométricas **41**
4.2 Analises químicas da madeira **43**
4.3 Características das fibras e vasos da celulose branqueada **45**
4.3.1 Número vasos/grama 46
4.3.2 Análise de fibras no analisador Kajaani F100 46
4.3.3 Valor de retenção de água (*Water retention value* - WRV) 47
4.3.4 Análises anatômicas de fibras e vasos na celulose branqueada 48
4.4 Cozimento **50**
4.5 Deslignificação alcalina com oxigênio **54**

4.6 Branqueamento **56**
4.7 Efeitos do cozimento, da deslignificação alcalina com oxigênio e branqueamento **61**
4.9 Testes físico-mecânicos das polpas branqueadas **63**
5 CONCLUSÕES **70**
6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES **74**
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **75**

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Valores dendrométricos de um inventário em bracatingais	9
QUADRO 2	Ensaios comparativos com celulose de bracatinga e eucalipto	11
QUADRO 3	Análises químicas das madeiras	11
QUADRO 4	Valores encontrados para diferentes condições de cozimentos kraft na madeira de bracatinga	12
QUADRO 5	Condições de cozimento	28
QUADRO 6	Condições de branqueamento	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores dendrométricos de volume, densidade e peso	42
TABELA 2	Dados dendrométricos de volume comercial com e sem casca, volume de casca e percentual de casca	43
TABELA 3	Teores médios de lignina, cinzas, extrativos solúveis em diclorometano e em álcool tolueno nas madeiras	44
TABELA 4	Resultados do analisador de fibras Kajaani F 100	47
TABELA 5	Dimensões anatômicas das fibras na celulose branqueada	49
TABELA 6	Comprimento e largura dos vasos na celulose branqueada	50
TABELA 7	Determinações do rendimento bruto, número kappa, viscosidade intrínseca, S_5 e alvura das celuloses não branqueadas	51
TABELA 8	Teste de Tukey para as análises dos cozimentos	52
TABELA 9	Álcali ativo aplicado, álcali efetivo aplicado, álcali efetivo residual e álcali efetivo consumido (resultados base madeira absolutamente seca)	53
TABELA 10	Teste de Tukey do álcali efetivo consumido	53
TABELA 11	Resultados da deslignificação com oxigênio: número kappa, S_5, viscosidade intrínseca e alvura	55
TABELA 12	Teste de Tukey para as analises de deslignificação com oxigênio	55
TABELA 13	S_5, viscosidade intrínseca e alvura das celuloses branqueadas	57
TABELA 14	Teste de Tukey para as análises do branqueamento	57
TABELA 15	Reversão da alvura (% IS0)	58
TABELA 16	Teste de Tukey para reversão da alvura	58
TABELA 17	Cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e residual de cloro no estágio D_1	59
TABELA 18	Cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e residual de cloro no estágio D_2	61

TABELA 19	Efeitos das deslignificações e branqueamento sobre as características das celuloses	62
TABELA 20	Graus de drenabilidade Schopper Riegler (ºSR) e energia de refino em número de revoluções do refinador PFI	62
TABELA 21	Teste de Tukey para grau de drenabilidade Schopper Riegler (ºSR) e para energia de refino aplicada no refinador PFI	63
TABELA 22	Índice de tração, elongação, índice de estouro e índice de rasgo	65
TABELA 23	Teste de Tukey para índice tração, elongação, índice de estouro e índice de rasgo	65
TABELA 24	Análises do volume específico aparente, resistência ao ar e ascensão capilar Klemm	67
TABELA 25	Teste de Tukey para volume especifico aparente, resistência ao ar e ascensão capilar Klemm	67
TABELA 26	Opacidade e alvura das polpas com e sem refino	68
TABELA 27	Teste de Tukey para opacidade e alvura	69

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Universidade Federal de Santa Maria

CELULOSE KRAFT PRODUZIDA A PARTIR DAS MADEIRAS DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella*) E EUCALIPTO (*Eucalyptus saligna*) MISTURADAS EM DIFERENTES PROPORÇÕES

Autor: Rafael Hardt Araujo

Orientador: Celso E. B. Foelkel

Data e local da defesa: Santa Maria, _____

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar o uso da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), pura e misturada em diferentes proporções com madeira de eucalipto(*Eucalyptus saligna* Smith), para a obtenção de celulose para papel. Tem como objetivos secundários, avaliar as características dendrométricas das árvores, qualificar e quantificar os principais elementos químicos da madeira (extrativos em diclorometano, extrativos em álcool tolueno, lignina e cinzas) e análise anatômicas das fibras e dos vasos. Foram realizados 20 cozimentos kraft, sendo cinco tratamentos, envolvendo misturas em peso seco de cavacos de madeira entre bracatinga e eucalipto (100% bracatinga, 5% bracatinga, 10% bracatinga, 20%bracatinga e 100% eucalipto) com quatro repetições cada. As condições de cozimento foram iguais para os diversos tratamentos, alterando-se somente o álcali ativo da amostra de bracatinga pura, visando manter o número kappa de 16 ± 1. A alteração foi de 23% de álcali ativo na bracatinga e 20% nos demais tratamentos(álcali ativo expresso como NaOH). A sulfidez manteve-se constante em 20%. A forma de cozimento foi a seguinte: (relação licor/madeira=4:1; temperatura máxima=170 ºC; tempo até a temperatura máxima=90 min.; tempo a temperatura máxima=60 min.). A polpa marrom passou pelas seguintes análises: rendimento bruto, número kappa, S_5, viscosidade intrínseca e alvura. Após os cozimentos, as polpas passaram por uma deslignificação com O_2 e posteriormente um branqueamento ECF, com uma seqüência D_1 E_o D_2 SO_2, para conseguir máxima alvura das polpas com menor ataque as fibras. As celuloses branqueadas foram refinadas em moinho PFI com o objetivo de atingir níveis de 30º SR, e concomitantemente com as amostras sem refinar foram feitos os testes físicos-

mecânicos e óticos. O teor de lignina e extrativos foram semelhantes nas duas madeiras, enquanto o eucalipto apresentou maior teor de cinzas e menor densidade básica. Anatomicamente, as fibras das duas espécies mostraram pouca diferença no comprimento, porém a bracatinga possuía fibras mais largas com maiores diâmetros de lúmen e paredes mais espessas. A bracatinga apresentou maior rendimento em celulose nos cozimentos. A deslignificação com oxigênio apresentou bons resultados na alvura e no número kappa, com pouca agressão as fibras. No branqueamento, a alvura foi influenciada a partir do acréscimo de 20% de bracatinga. Igual comportamento ocorreu na reversão da alvura. Com relação ao desempenho das celuloses nos testes físico-mecânicos e óticos, o acréscimo da proporção de bracatinga tende a promover uma perda da resistência à tração, ao rasgo, ao estouro, à elongação e piora a opacidade. Com esses resultados, pode-se concluir que a celulose de bracatinga é mais compatível com a fabricação de polpas para papéis sanitários e higiênicos, e menos recomendada para papéis de impressão e escrita, frente às suas características anatômicas e de desempenho nos testes de refinação. Entretanto, o seu uso em misturas até 10% com madeira de eucalipto, não afeta significativamente a qualidade da celulose resultante.

ABSTRACT

KRAFT PULPING OF BRACATINGA (*Mimosa scabrella*) AND EUCALYPTUS (*Eucalyptus saligna*) WOOD CHIP BLENDS

Author: Rafael Hardt Araujo

Adviser: Celso E. B. Foelkel

This study had as main objective to evaluate the use of bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) wood as fibrous source for papermaking. Kraft pulping of bracatinga and eucalyptus (*Eucalyptus saligna* Smith) wood chip blends were analyzed. Other objectives were: to evaluate characteristics of the trees; wood chemical composition (dichlormethane extractives, alcohol toluene extractives, lignin content and ash content) and anatomical dimensions and population of fibers and vessel elements in the pulps. Twenty kraft cooking were performed, comprising the comparison of 5 treatments with 4 replication for treatment (different wood chip blends based on oven dried wood weight: 100% bracatinga, 5% bracatinga, 10% bracatinga, 20%bracatinga e 100% eucalyptus). Kraft cooking conditions were similar to all treatments, except for 100% bracatinga wood chips, which required 23% active alkali instead of 20% corresponding to the other treatments (active alkali expressed as NaOH). Sulfidity was kept constant as 20%. Other kraft pulping conditions: liquor to wood ratio = 4/1; maximum temperature = 170ºC; time to 170ºC = 90 minutes; time at 170ºC = 60 minutes. Unbleached pulps were analyzed for pulp yield, kappa number, 5% caustic soda solubility, intrinsic viscosity and brightness. Target kappa number was 16 ± 1. After cooking, the unbleached pulps were deslignified by oxygen in alkaline condition followed by an ECF bleaching sequence (D_1 E_o D_2 SO_2). Bleached pulps were beaten in a PFI mill and the strength and optical properties compared at unbeaten and 30º SR levels. Lignin content and extractives were similar in both woods(eucalyptus and bracatinga). However, eucalyptus wood had higher ash content and lower wood basic density. Bracatinga and eucalyptus fibers were similar in term of fiber length, but bracatinga fibers were wider and thicker-walled. Bracatinga wood chips led to better pulp yields. Oxygen delignifications provided good results in all treatments. Pulp bleaching started to show losses in brightness when bracatinga wood content in the blend was 20% and

over. The same trend for reverted brightness. Higher the bracatinga wood content over 10%, worse the strength properties (tensile, tear, burst and stretch) and pulp opacity. However, the use of bracatinga wood up to 10% based on dry weight did not harm the pulp quality. High bracatinga fiber content in pulp gives pulps more suitable to tissue papers manufacturing and less recommended to printing and writing papers índice.

1 INTRODUÇÃO

A busca de conhecimentos sobre a utilização econômica e sustentável de espécies florestais brasileiras é de grande importância para a conservação dos ecossistemas e a manutenção da biodiversidade das florestas nativas e naturais, possibilitando também o múltiplo uso de nossos recursos naturais renováveis. Com o aproveitamento racional dos recursos oferecidos pelas florestas, conjuntamente com a adoção de um manejo florestal correto, eleva-se a qualidade ambiental e consequentemente melhoram as condições de vida da sociedade.

No Brasil, as grandes áreas de florestas homogêneas de espécies exóticas com alto incremento de volume representam a maior fonte de matéria-prima fibrosa para a produção de celulose e papel. Procurando estudar e descobrir novas fontes viáveis de matéria-prima que possam diversificar o uso dos recursos florestais é que se definiram os objetivos deste trabalho.

A espécie nativa a ser avaliada como fonte de matéria-prima fibrosa para a produção de polpa celulósica pelo processo kraft é a bracatinga (*Mimosa scabrella* var. *scabrella*), que tem sua área de ocorrência natural na vegetação secundária da floresta dos pinhais (floresta ombrófila mista), que está compreendida na região sul do Brasil. Também ocorre em menor freqüência principalmente nas regiões serranas do leste do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Carvalho, 1994). Já a espécie referência usada é o

Eucalyptus saligna Smith, o qual representa uma grande parcela no fornecimento de matéria-prima para a produção de celulose no Brasil. Essa espécie, apesar de ser originária da Austrália, encontrou ambiente favorável para crescimento no Brasil e sua utilização industrial tem favorecido o desenvolvimento socioeconômico, principalmente no sul e sudeste do país.

A escolha da bracatinga se deve a suas características ecológicas, tecnológicas e seu potencial para uso em plantações e em sistemas agroflorestais em pequenas e médias propriedades rurais. Além disso, é uma espécie pioneira e tem rápido crescimento em relação às espécies de florestas nativas do sul do país.

Desde o começo do século, a bracatinga é cultivada em sistemas agroflorestais e consumida como fonte energética na região metropolitana de Curitiba - PR, onde podem ser hoje encontrados cerca de 60.000 ha plantados (Carpanezzi, 1994).

Nos países da África, como Ruanda e Zaire, a bracatinga é cultivada em clima de temperaturas relativamente baixas, em altitudes de até 2.500 m, mas em áreas possuindo alta incidência de raios solares. Os solos destas regiões são ácidos e têm alto teor de alumínio (Niang et al.,1994). É também bastante difundida na América Central e na Argentina (Catie, 1985; Volkart et al.). Nestes países a madeira é também mais usada como fonte energética.

Na América Central, a bracatinga é plantada em sistemas agroflorestais consorciada com a cultura do café, melhorando assim as condições edáficas com a deposição de matéria orgânica e fixação de nitrogênio, como também faz o sombreamento e a proteção da cultura do café contra geadas (Catie, 1985).

A análise do potencial tecnológico da bracatinga representa um grande passo para o uso múltiplo das espécies nativas. Descobrindo as suas diferentes potencialidades, estar-se-á contribuindo, de certa forma, para a preservação da espécie florestal e o plantio em novas áreas para a recuperação de áreas deterioradas, o que no momento se faz muito necessário.

Atualmente, há fortes tendências no Brasil para adoção de práticas de bom manejo florestal e certificação florestal, conforme critérios e princípios de entidades como o FSC (Forest Stewardship Council) ou da ABNT/CERFLOR (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Ambos preconizam atenção para produção de madeira não apenas a partir de florestas plantadas com espécies exóticas, mas também enfatiza a necessidade de se pesquisar espécies naturais locais como fontes de madeira. Essa matéria-prima para a indústria pode vir tanto de plantações em larga escala, especificamente plantadas para esse fim, como também ser proveniente de propriedades agrícolas, que passarão a ter na produção florestal ou agroflorestal uma alternativa de renda adicional. O plantio da bracatinga nas propriedades agrícolas pode oferecer também um suprimento de madeira com densidade mais elevada para uso interno na propriedade e boas características energéticas. Por isso, o crescente uso de sistemas agroflorestais em pequenas e médias propriedades tem um grande papel social na fixação do homem ao campo, minimizando assim o êxodo rural e os problemas urbanos causados pelo confinamento de números surpreendentes de pessoas em condições de vida desfavoráveis. Como vantagens ecológicas da escolha da bracatinga, temos o fato de ser uma planta heliófita, fixadora de nitrogênio no solo, que deposita

grande quantidade de matéria orgânica no mesmo, recupera áreas deterioradas e pode ser cultivada em plantios homogêneos, também em áreas onde a produtividade de espécies exóticas se mostre muito baixa. Em regime de rotação de cultura em áreas florestais com espécies exóticas, poderá acrescentar qualidade ao sítio.

O presente estudo teve por objetivo principal avaliar o potencial de produção e a qualidade da polpa celulósica de bracatinga (*Mimosa scabrella* var *scabrella*) em diferentes proporções de mistura com a madeira de eucalipto (*Eucalyptus saligna)*. Esta pesquisa possuiu também, como objetivo específico, discutir o potencial de produção da espécie e o seu possível uso na indústria papeleira. Hoje, a oferta e a produção de madeira para essa indústria baseia-se quase que totalmente em florestas plantadas com essências exóticas (*Eucalyptus sp , Pinus sp e Acacia mearnsii*). Espera-se assim contribuir com novas alternativas de matéria-prima, bem como avaliar o potencial de implantação de novos reflorestamentos para produção dessa madeira. O objetivo não é o de substituir as espécies tradicionalmente usadas para a produção de celulose. Pelo contrário, quer-se oferecer uma alternativa para a integração maior da indústria de produção de celulose de eucalipto com a comunidade rural, disponibilizando outra madeira de fibra curta como fonte complementar de fibras nos cozimentos industriais com eucalipto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características das espécies estudadas

2.1.1 Bracatinga

2.1.1.1 Aspectos botânicos e ecológicos

A *Mimosa scabrella* Benth pertence à família das *Mimosaceae*, antiga subfamília *Mimosoideae* (*Leguminosae*). Existem três variedades populares de bracatinga, que são conhecidas como as variedades vermelha, branca e a argentina. As bracatingas branca e vermelha são denominadas como *Mimosa scabrella* var. *scabrella*, já a bracatinga argentina é denominada como *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*, que apesar de seu nome vulgar, não tem nada a ver com o país Argentina, onde a bracatinga não ocorre naturalmente (Embrapa, 1988).

A área de distribuição natural da bracatinga estende-se desde a latitude de 23º50'S até 29º40'S e longitude de 48º30’W até 53º50’W (Rotta & Oliveira, 1981).

Segundo Reitz et al. (1983) e Schultz (1990), a bracatinga é uma árvore perenifólia sem espinhos, de até mais de 20 metros de altura, com o tronco alto e esbelto (em maciços) ou curto ramificado,

até 50 cm de diâmetro na altura do peito (DAP). A casca da bracatinga apresenta coloração marrom e é áspera ao tato. As ramificações são cimosas e densas, formando copa arredondada de cor cinzenta, geralmente bem formada. As folhas tem filotaxia alterna, são compostas, bipinadas, em ramos vigorosos muito grandes, de até 14 pares de pinas e 20 cm de diâmetro. O fruto é do tipo lomento oblongo linear, achatado, séssil, levemente tortuoso e articulado, de 1,7 a 4,8 cm por 0,5 a 0,9 cm de comprimento e largura. As sementes são ovais, achatadas, duras e escuras, de 5 a 6 mm de comprimento e possuem os cotilédones esverdeados.

Lorenzi (1992) descreve a bracatinga como sendo uma planta semidecídua, heliófita, pioneira, bastante indiferente quanto às condições físicas do solo. Naturalmente, é típica e exclusiva das matas dos pinhais, principalmente de associações secundárias, onde chega freqüentemente a formar agrupamentos puros. Ela produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis.

As queimadas estimulam a formação de maciços puros, conhecidos como bracatingais. Pioneira em sua área de ocorrência, a árvore estabelece uma transição entre a vegetação de capoeira e estágios mais avançados da sucessão. Por sua contribuição para a melhoria das condições químicas do solo, incorporando elevados teores de nitrogênio e fósforo, é uma das mais valiosas essências florestais para a recuperação de áreas degradadas, no planalto sul-brasileiro (Marchiori, 1997).

A bracatinga floresce durante os meses do inverno, produzindo anualmente grandes quantidades de frutos e sementes. Suas sementes caídas ao solo germinam facilmente quando submetidas à queima da

vegetação. Cresce rapidamente, pelo que é muito indicada para reflorestamento em agrupamentos puros (Reitz et. al., 1983). Segundo os mesmos autores, a formação de mudas e o comportamento da bracatinga em plantios experimentais, revelam que as plantinhas são muito sensíveis ao frio e às geadas, motivo pelo qual devem ser semeadas para serem repicadas após o período crítico das geadas. Quanto ao comportamento da bracatinga em plantios experimentais com espaçamentos variáveis, foi observado que se desenvolve muito bem, quando se mantém de 2.000 a 2.500 plantas por hectare. Nestas condições apresentam bom desenvolvimento, principalmente em altura.

2.1.1.2 Sistemas agroflorestais

As florestas de bracatinga têm sido manejadas, praticamente na maioria dos casos, em sistemas agroflorestais. Basicamente, a agrossilvicultura tradicional com a bracatinga consiste em implantar o bracatingal simultaneamente com as culturas agrícolas, principalmente o milho e o feijão. Os tratos culturais são direcionados segundo as necessidades das culturas agrícolas. A partir da segunda rotação, o cultivo da bracatinga é feito através da indução da regeneração natural, pela queima dos resíduos da exploração anterior (Laurent et al., 1990). O corte das árvores de bracatinga ocorre nos povoamentos com cerca de 7 anos de idade. Após a exploração do

material lenhoso, são plantadas as culturas de milho e/ou feijão na forma tradicional (queima dos restos culturais da bracatinga, onde permite plantio do milho e/ou feijão). Com os tratos culturais dispensados a essas culturas agrícolas, controla-se a enorme população da bracatinga, que germina em função das inúmeras sementes depositadas naturalmente no solo, e o ciclo se repete por muitas rotações (Bittencourt & Amend, 1994).

2.1.1.3 Produtividade da bracatinga

Os rendimentos dos bracatingais são variáveis de acordo com o solo, a topografia, idade de corte das árvores, bem como do manejo florestal e tratos culturais durante o crescimento da floresta.

A produtividade da bracatinga em sistemas tradicionais consorciados com culturas de ciclo curto é baixa, refletindo o ambiente físico e as práticas culturais. Mesmo nestas condições, o sistema é viável economicamente, em razão dos baixos custos de implantação e manutenção (Carpanezzi, 1992). Além disso, pouco se tem feito para converter a bracatinga em uma espécie florestal com material genético e manejo florestal melhorados, o que permite visualizar grandes possibilidades de melhoria.

Nos sistemas tradicionais, aos 7 anos de idade um povoamento de bracatinga produz de 150 a 200 st por hectare (Mazuchowski,

1989). Isso dá um incremento médio anual de 12,5 a 15,0 m³/ha equivalente a 18 a 23 st.

Estudos feito por Carvalho & Costa (1981), com árvores de bracatinga na região de Campo Mourão - PR, apresentou os seguintes incrementos aos 40 meses após o plantio: 3,22 m de altura por ano; 2,67 cm de diâmetro por ano; e 31,1 m³/ha/ano.

No Quadro 1, a seguir, a Embrapa (1988) descreve os resultados de um inventário nos bracatingais localizados em Colombo - PR. Os dados foram obtidos em diferentes talhões de bracatinga, medidos em uma mesma época, em duas propriedades contíguas com parcelas de 100 m^2, 4 parcelas por talhão.

QUADRO 1 - Valores dendrométricos de um inventário em bracatingais.

Idade (anos)	Altura total (m)	Plantas/ha	DAP médio (cm)	Volume(m³/ha)	
				total	IMA
5	12,80	2.350	8,44	83,4	16,68
6	11,84	2.150	9,38	96,1	16,01
7	14,30	1.575	11,58	135,7	19,38
8	13,09	1.675	11,18	115,4	14,42

Fonte: Carpanezzi, 1988 DAP =diâmetro à altura do peito; IMA = incremento médio anual.

Na Costa Rica, em povoamentos de um a dois anos associados ao café com sítios de solos profundos e férteis, com densidade de 400 a 625 árvores por hectare, é encontrado um incremento anual de 3,8 a 7,9 cm em DAP e 2,6 a 4,9 m em altura. Neste mesmo país, há bons resultados em regiões com solos ácidos de origem vulcânica, com deficiência de nutrientes e alto teor de alumínio (Catie, 1985).

2.1.1.4 Características tecnológicas da madeira e da celulose de bracatinga

Por ser uma espécie de rápido crescimento, a madeira de bracatinga já pode ser utilizada aos 4 anos de idade. As toras são roliças, de fácil manuseio, sendo também fácil a operação de descascamento nos primeiros 15 dias após o corte. Depois deste período, a casca se adere fortemente ao lenho, tornando muito difícil a operação (Assis et al., 1968). Segundo o mesmo autor, em determinações de laboratório, o peso específico aparente ou densidade básica (peso seco/volume úmido) mostrou valor médio de 0,553 g/cm³ , representando 108 determinações, com bastante regularidade (0,2% de coeficiente de variação).

Em estudos feito pela Universidade Federal do Paraná (1979) com a bracatinga, avaliando seu potencial tecnológico para madeira serrada, concluiu-se que a madeira é relativamente difícil de ser cortada, mas fácil de aplainar e lixar. O acabamento superficial foi bom, liso, e o lustre mediano é bastante uniforme. Em alguns casos o aproveitamento era reduzido devido à presença de fendas nos troncos com inclusão de casca, que penetrava até a medula da árvore. A madeira de bracatinga tem ganhado cada vez mais destaque pela sua beleza, lembrando a imbuia pela sua cor marrom escura.

Em uma pesquisa comparando dados tecnológicos das madeiras de bracatinga com *Eucalyptus grandis* publicado por Barrichelo & Brito (1982), concluiu-se que, de uma maneira geral, a qualidade da celulose sulfato ou kraft de bracatinga é considerada razoável, porém

sem possibilidades de competir por si só com celuloses provenientes de madeira de eucaliptos.

Os Quadros 2 e 3 mostram alguns resultados de ensaios anatômicos e químicos obtidos nessa pesquisa:

QUADRO 2 - Ensaios comparativos com celulose de bracatinga e eucalipto.

Ensaio	Unidades	Bracatinga	Eucalipto
Densidade básica	g/cm³	0,580	0,494
Comprimento da fibra	mm	0,97	0,90
Largura da fibra	µm	23,5	17,5
Diâmetro do lúmen	µm	11,0	8,5
Espessura da parede	µm	6,2	4,0
Índice de enfeltramento	-	41	51
Coeficiente de flexibilidade	%	47	48
Fração parede	%	52	46

Fonte: Barrichelo & Brito, 1982.

QUADRO 3 - Análises químicas das madeiras.

Ensaio	Bracatinga	Eucalipto
Solubilidades (%):		
água quente	5,6	4,2
álcool-benzeno	1,4	2,6
NaOH 1%	16,8	17,5
Teores (%) :		
Holocelulose	74,4	76,0
Lignina	24,9	22,8
Pentosanas	22,8	16,5
Cinzas	0,7	0,2

Fonte : Barrichelo & Brito, 1982.

Os rendimentos e teores de rejeitos da polpa celulósica sulfato, descritos por Barrichelo (1968) e Barrichelo & Foelkel (1975), apresentam-se no Quadro 4, a seguir:

QUADRO 4 - Valores encontrados para diferentes condições de cozimentos kraft na madeira de bracatinga.

Cozimentos	Rendimento bruto(%)	Rendimento depurado(%)	Teor rejeitos(%)	Numero de permanganato
1	52,1	52,0	0,1	13,4
2	54,6	54,3	0,4	15,4
3	59,2	57,3	2,0	19,3

Fonte: Barrichelo, 1968; Barrichelo & Foelkel, 1975.

Em estudos sobre o branqueamento da celulose de bracatinga, Assis et al. (1968) encontraram 33° GE para pasta não alvejada e 81,5° GE para a branqueada. Os autores concluíram que essas alvuras encontradas não favoreciam o uso das celuloses para papéis de impressão e escrita. Entretanto, na época, as seqüências de branqueamento eram muito menos desenvolvidas tecnologicamente que as atuais.

Assis et al. (1968), Barrichelo (1968) e Barrichelo & Foelkel (1975) recomendaram nessa época o uso da celulose de bracatinga obtidas pelos processos sulfito ou sulfato, em misturas com outras de melhor qualidade, para a fabricação de papéis e cartolinas de gramaturas elevadas, onde não se exige alta resistência física. Poderia também ser utilizada na fabricação de papéis para escrita e impressão.

2.1.2 Eucalipto

2.1.2.1 Aspectos botânicos e ecológicos

O gênero *Eucalyptus* pertence à família *Myrtaceae*, sendo representado por aproximadamente 600 espécies, diversas variedades, híbridos naturais e artificiais. É um dos gêneros de espécies florestais mais estudado e cultivado. Compreende desde árvores de grande porte (100 m de altura) até pequenos arbustos ornamentais, abrangendo cerca de 95% da área florestal natural da Austrália e Tasmânia (Mangieri & Dimitri, 1971). A temperatura máxima na zona de ocorrência varia de 24 a 33^{o}C e a mínima de -2 a 8^{o}C. Esses mesmos autores destacam que este é o gênero que adquiriu maior importância nos plantios comerciais na América do Sul, dada a sua grande variedade de espécies e boa adaptação em países de clima temperado, tropical e/ou subtropical. No Brasil, o gênero *Eucalyptus* tem sido utilizado como principal fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel.

O *Eucalyptus saligna* ocorre naturalmente na Austrália, principalmente na região litorânea e nos vales das cadeias montanhosas próximas ao litoral de New South Wales, e ao sul de Queensland. A distribuição natural da espécie situa-se entre as latitudes de 28 a 35^{o}S, em altitudes desde o nível do mar até 1.000 m. A precipitação pluviométrica anual situa-se entre 800 a 1.200mm; chuvas uniformemente distribuídas durante o ano, ou

concentradas no verão. A estação seca não ultrapassa 4 meses. Temperatura média das máximas do mês mais quente entre 28 a 30^{o}C e das mínimas do mês mais frio entre 3 a 4^{o}C. As geadas ocorrem numa intensidade de 5 a 10 dias/ano, (Ferreira, 1979).

Segundo o mesmo autor a madeira é indicada para usos generalizados. Freqüentemente a espécie é confundida com *E. grandis* em função das afinidades existentes entre elas. No estado de São Paulo, o *E. saligna* de procedências da Austrália, Mairinque ou Itatinga, produz madeira de maior densidade quando comparada ao *E. grandis*, e apresenta menor suscetibilidade à deficiência do micronutriente boro. Identicamente ao *E. grandis*, em áreas onde a deficiência hídrica seja severa e as condições mais tropicais, poderá ser atacado pelo cancro do eucalipto. As características da madeira tornam a espécie indicada para: laminação, móveis, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão. Apresenta suscetibilidade às geadas severas, tolera fogo baixo, e tem boa capacidade de regeneração por brotação das cepas. Em função do sucesso alcançado com a espécie no estado de São Paulo, ela tem sido também plantada na região sul do país, entretanto, com restrições a locais onde ocorram geadas ou deficiências hídricas severas.

2.1.2.2 Produção de celulose com eucalipto.

A obtenção de polpa celulósica de eucalipto é quase totalmente através do processo alcalino kraft ou sulfato. Esta técnica utiliza soluções com hidróxido de sódio e sulfeto de sódio misturadas a cavacos de madeira em altas temperaturas. Consiste na degradação da lignina, separando as fibras e deixando nas mesmas principalmente a celulose e as hemiceluloses para serem usadas na fabricação de papel. (Pinho & Cahen, 1981).

Desde da década de 40 o eucalipto vem se destacando no Brasil na produção de celulose pelo processo kraft. Isso devido a grande adaptabilidade em diversas condições edáficas, por possuir um ciclo curto na produção de madeira para a industria de celulose, de aproximadamente 7 anos, e graças às excelentes produtividade e qualidade dos produtos provenientes dessa matéria prima. São várias especificações na madeira, dentro do gênero que influenciam na produção de celulose, tais como: espécie, condições de manejo da floresta, idade, clima da região, forma da árvore, qualidade da madeira, mas os principais determinantes destas madeiras para a produção de celulose são a densidade básica, dimensões anatômicas dos componentes celulares da madeira e os extrativos químicos, que influenciam na qualidade do produto final (Mezzomo, 1995).

Atualmente no Brasil o eucalipto representa 69% da área reflorestada. O país é também o segundo maior exportador de celulose de fibra curta e o primeiro no caso de fibras produzidas a partir do

eucalipto, detendo cerca da metade das vendas deste produto (González et al., 2002).

2.2 O uso da madeira para a produção de celulose

As matérias-primas fibrosas podem ser classificadas em vegetais, animais, minerais e artificiais. As fibras usadas na fabricação de pasta celulósica para papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias-primas fibrosas vegetais, desde palha de cereais até principalmente a madeira. Na seleção de uma dessas matérias-primas fibrosas para a fabricação de pasta celulósica para papel deve-se levar em conta o seu custo e a disponibilidade em grande quantidade o ano todo, possibilitando a exploração econômica, com facilidade de renovação e de fornecer ao produto final as características desejadas (Kuan et al., 1982).

As fibras de maior importância econômica são as “fibras de madeira”, de árvores do grupo das dicotiledôneas arbóreas (*Angiospermae*) e das coníferas (*Gymnospermae*). Essas madeiras são respectivamente também conhecidas por folhosas (porosas, duras ou “*hardwood*”) e coniferas (não porosas, moles ou “*softwood*”).

A madeira é uma matéria-prima formada de fibras e outros elementos anatômicos em múltiplas camadas, ligadas entre si por forças interfibrilares e pela lignina que age como ligante. Para a separação dessas fibras, unidas por forças coesivas intermoleculares, é

necessário empregar uma certa quantidade de energia térmica, elétrica ou química. A qualidade, características e utilizações da pasta produzida serão funções da matéria-prima e do processo de individualização de fibras empregado. Deste modo, pode-se definir o processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ou mecânica. Os diversos processos de polpação podem ser classificados de acordo com seus rendimentos em polpa ou quanto ao pH utilizado nas polpações químicas (Pinho & Cahen, 1981). Segundo os mesmos autores, quando se utilizam somente reagentes químicos e condições de processo mais enérgicos, ocorre uma alta taxa de deslignificação e de solubilização de hemiceluloses, acompanhada de alguma degradação da celulose. A soma destes efeitos explica o baixo rendimento do processo (40 a 50 %).

As principais madeiras utilizadas no Brasil para produção de celulose são provenientes de plantações de *Eucalyptus sp, Pinus sp e Acacia mearnsii*. Os eucaliptos e a acácia são classificados como folhosas e os pinheiros são coníferas. A bracatinga também é uma folhosa , com madeira também referida como de fibras curtas, assim como os eucaliptos e a acácia.

2.3 Uso de misturas de madeira na produção de celulose

A utilização de misturas de duas ou mais espécies produtoras de fibras é uma prática comum nas indústrias de celulose e papel. Essa prática é usada na tentativa de melhorar a qualidade de celulose inferior, de aproveitar os excedentes de matérias-primas fibrosas ou de baratear os custos do produto final. Em países do hemisfério norte, onde a madeira provem de bosques naturais mistos, é muito comum a produção de celulose a partir de misturas de madeiras.

Na fabricação do papel, usa-se muito misturar fibras curtas de espécies de folhosas com fibras longas de coníferas para melhorar as certas propriedades específicas do produto final. Num estudo feito por Foelkel & Barrichelo (1975), foram avaliadas as variações das propriedades físico-mecânicas de várias percentagens de misturas de celuloses sulfato de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Esses mesmos autores chegaram à conclusão que a adição de *Pinus caribaea* na polpa reflete-se diretamente no aumento da resistência ao rasgo e que a resistência a tração e ao arrebentamento não sofrem tanta influência pela adição de fibras longas. A espessura das folhas decresceu com o aumento do teor de celulose de *Pinus caribaea* na mistura, consequentemente houve o aumento do peso específico. Os autores concluíram que as misturas de fibras de características diferentes oferecem grande possibilidade de se produzir papéis com propriedades previamente planejadas.

Muitas empresas usam ou usaram misturas de fibras. Um exemplo é da Aracruz, antiga Klabin Riocell, localizada no município

de Guaíba - RS. Durante um longo período utilizou em torno de 20 % de madeira de acácia negra (*Acacia mearnsii*) misturados com eucalipto em seus cozimentos. Isso ocorreu devido ao grande excedente de madeira de acácia na região. Os produtores próximos à empresa forneciam para as indústrias de tanino apenas a casca das árvores, sobrando grande quantidade de madeira de acácia negra. Dessa forma, a acácia tornou-se uma espécie de bom resultado econômico. Ainda hoje, a madeira de acácia é utilizada para produção de celulose, só que no Japão, por exportação de cavacos do Rio Grande do Sul. As informações em relação a acácia negra são de grande interesse devido a certas semelhanças entre esta espécie e a bracatinga.

Petrik, et al. (1984) realizou estudos com várias misturas de madeiras de *Eucalyptus saligna* com *Acacia mearnsii* para ver a viabilidade de produção de celulose kraft a partir da utilização conjuntas dessa madeiras. As análises das madeiras das espécies do estudo, revelaram diferenças bastantes acentuadas. A madeira de acácia negra apresentou maiores teores de extrativos e maior densidade básica, quando comparada ao eucalipto. A madeira de acácia negra possuía maiores quantidades de hemiceluloses e menores teores de lignina. Com isso, o rendimento em celulose era favorecido pelo uso da madeira de acácia na mistura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve como material de estudo duas espécies diferentes, a bracatinga, *Mimosa scabrella* var. *scabrella*, *e* o eucalipto, *Eucalyptus saligna*.

As duas espécies têm procedências distintas em função da disponibilidade geográfica. Todas as amostras seguiram as mesmas metodologias de preparo e análises.

3.1 Amostragem

3.1.1 Bracatinga

As amostras de bracatinga foram coletadas no mês de fevereiro de 2.000 numa pequena propriedade localizada no município de Agronômica, planalto médio de Santa Catarina. A floresta tinha 84 meses de idade e apresentava uma densidade populacional em torno de 2.400 árvores por hectare com espaçamento aproximado de 2 metros por 2 metros. Foi um plantio de primeiro corte, sendo plantado a partir de mudas.

3.1.2 Eucalipto

As amostras de eucalipto foram retiradas em novembro de 1.999 no município de Barra do Ribeira, às margens da lagoa dos Patos no estado do Rio Grande do Sul. Era uma floresta clonal, tinha 120 meses de idade e apresentava um espaçamento 3 metros por 2 metros, somando aproximadamente 1.600 árvores por hectare no plantio, sendo também a primeira colheita. Consistia em um material em avançado nível de melhoramento genético para desenvolvimento volumétrico e caraterísticas dendrométricas das árvores.

3.2 Preparo das amostras

Um total de 26 árvores foram escolhidas aleatoriamente, das quais 15 de eucalipto e 11 bracatinga. Os indivíduos foram cubados e secionados na base, DAP e a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, que representa um diâmetro mínimo de 6 cm com casca. Foram retirados 3 discos por altura, um para análises químicas e cozimentos, outro para a determinação da densidade básica, e o terceiro para reserva de material. Os discos seguiram um padrão médio com aproximadamente 3 cm de espessura. Para as análises químicas e cozimentos, os discos foram divididos em duas partes, de cada metade separou-se 15º a partir da linha da divisão. Essa amostra

foi picada em palitos e depois moída em moinho tipo Wiley. O restante foi transformado manualmente em cavacos para cozimento, nas dimensões aproximadas de 2 a 3 mm de espessura, 2 a 3 cm de largura. O comprimento dos cavacos era função da espessura de 3 cm dos discos.

As amostras para as análises químicas foram moídas até serem transformadas em um serragem fina. Posteriormente peneirou-se a serragem numa peneira de 40 mesh, separou-se todo material que passou pela peneira, as maiores partículas que ficaram retidas foram novamente moídas em um gral e peneirados novamente. Repetiu-se esse procedimento até passar todo o material pela peneira. Depois a serragem foi homogeneizada e medida a sua consistência.

3.3 Determinações dendrométricas

3.3.1 Volume comercial

Determinou-se o volume comercial através do método adaptado conforme Smalian descrito por Finger, (1992). O volume de cada seção é calculado em função do comprimento e das áreas basais obtidas nas extremidades das seções. Mediu-se a espessura da casca em todas as alturas, assim obteve-se o volume comercial com e sem casca e pela diferença resultou o volume de casca.

$$\mathbf{V_{casca} = Vc_{c/c} - Vc_{s/c}}$$

Onde : V_{casca} = Volume de casca; $Vc_{c/c}$ = Volume comercial com casca; $Vc_{s/c}$ = Volume comercial sem casca.

3.3.2 Densidade básica

Foi retirada um parte representativa de um disco de cada altura, essa amostra foi mergulhada em água por aproximadamente 30 dias até a saturação total da madeira.

Na determinação do volume úmido usou-se o método de deslocamento ou empuxo. Depois de medido o volume das peças por imersão, foram levadas à estufa com 105 ± 2ºC até manterem o peso constante.

Assim temos:

$$\mathbf{D_b = P_{seco} / V_{sat.}}$$

Onde:

D_b = Densidade básica; P_{seco} = Peso da amostra absolutamente seca; $V_{sat.}$ = Volume da amostra saturada, com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

3.3.3 Peso seco da madeira comercial da árvore

A determinação do peso seco da madeira comercial da árvore fez-se pela multiplicação do volume parcial de cada segmento na altura por sua respectiva densidade básica média e somando-as para totalizar o peso da madeira da árvore.

Peso seco da madeira da árvore = $(V_{1\,x}\ D_1)+(V_{2\,x}\ D_2)+(V_{3\,x}\ D_3)+(V_{4\,x}\ D_4)$

Onde : V_1 = volume do sólido compreendido entre a base e 25% da altura comercial; V_2 = volume do sólido compreendido entre 25% e 50% da altura comercial; V_3 = volume do sólido compreendido entre 50% e 75% da altura comercial; V_4 = volume do sólido compreendido entre 75% e 100% da altura comercial; D_1 =densidade básica média da madeira compreendida entre a base a 25% da altura comercial; D_2 = densidade básica média da madeira compreendida entre 25% e 50% da altura comercial; D_3 = densidade básica média da madeira compreendida entre 50% e 75% da altura comercial; D_4 = densidade básica média da madeira compreendida entre 75% e 100% da altura comercial.

O peso da madeira da árvore foi expresso em toneladas absolutamente secas, os volumes em metros cúbicos e as densidades em g/cm^3 ou t/m^3.

3.4 Análises químicas das madeiras

Foram efetuados quatro tipos de determinações químicas das madeiras, com três repetições cada:

- Teor de lignina
- Teor de cinzas
- Teor de extrativos em diclorometano
- Teor de extrativos em álcool tolueno

3.4.1 Lignina

O teor de lignina insolúvel em ácido da madeira foi determinado segundo as metodologias TAPPI 222 om-88 e ISO 624: 1974.

3.4.2 Cinzas

O percentual de cinzas da madeira foi determinado segundo a metodologia TAPPI 211 om-93.

3.4.3 Extrativos em diclorometano

O teor de extrativos em diclorometano seguiu a metodologia ISO 624: 1974.

3.4.4 Extrativos em álcool tolueno

O teor de extrativos em álcool tolueno foi determinado de acordo com as normas da TAPPI T204 cm-97.

3.5 Cozimentos kraft

Os cozimentos kraft foram feitos em uma autoclave (Regmed-modelo-AU/e-20) contendo 4 células. Cada célula do digestor era carregada com 150 g de cavacos absolutamente secos, totalizando 600g por cozimento nas 4 células. Cada unidade amostral foi sorteada aleatoriamente e representada em 2 células por cozimento, colocadas em sentidos opostos no digestor. Após a polpação, foram unidas novamente na lavagem da celulose, com isso totalizando 300 g de cavacos secos transformadas em polpa marrom, sendo assim 2 células

opostas do digestor para uma amostra e consequentemente 2 unidades amostrais por cozimento. Efetuaram-se cozimentos prévios para ajustar o álcali ativo e a sulfidez para se ter uma polpa de número kappa 16 ± 1. Desprezando os cozimentos para ajustes, foram realizadas 10 operações de cozimento no digestor para obtenção de todas as amostras (5 tratamentos por 4 repetições = 20 unidades amostrais, duas por cada operação de cozimento).

Os tratamentos utilizados na obtenção da polpa foram:

- 100% de madeira de eucalipto
- 5% de madeira de bracatinga e 95% de madeira de eucalipto, base peso absolutamente seco
- 10% de madeira de bracatinga e 90% de eucalipto
- 20% de madeira de bracatinga e 80% de eucalipto
- 100% de madeira de bracatinga

Esses 5 tratamentos com 4 repetições cada foram definidos com o objetivo de avaliar a qualidade da celulose kraft da bracatinga e sua influência em misturas com eucalipto.

3.5.1 Condições dos cozimentos

As condições da polpação kraft foram praticamente as mesmas para todos os tratamentos, variando somente a carga de álcali ativo das

amostras de bracatinga pura, quando se aplicou 23% base NaOH, em relação aos 20% aplicados nos cozimentos de eucalipto puro e misturas de eucalipto e bracatinga.

As condições de cozimento estão representadas no Quadro 5.

QUADRO 5 - Condições de cozimento.

	100% eucalipto	5% bracatinga	10% bracatinga	20% bracatinga	100% bracatinga
Relação licor madeira	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1
Sulfidez (%)	20	20	20	20	20
Álcali ativo (%)	20	20	20	20	23
Álcali efetivo (%)	18,0	18,0	18,0	18,0	20,7
Temperatura máxima (ºC)	170	170	170	170	170
Tempo até temperatura máxima (min).	90	90	90	90	90
Tempo à temperatura máxima (min).	60	60	60	60	60

3.5.2 Avaliação do licor de cozimento

Após os cozimentos foi recolhido o licor residual e determinado o álcali efetivo residual, álcali efetivo consumido, seguindo a metodologia TAPPI 625 om-85.

3.5.3 Rendimentos em celulose

Na determinação do rendimento bruto, calculou-se a relação percentual entre o peso absolutamente seco da celulose não depurada com o peso absolutamente seco da madeira empregada no cozimento.

Na separação dos rejeitos da polpa foi usado no depurador peneiras com fendas de 0,2 mm. O material retido era seco em estufa a 105 ± 2ºC pesado e o teor de rejeitos era expresso com base também no peso absolutamente seco da madeira. O rendimento depurado foi calculado pela diferença entre rendimento bruto e o teor de rejeitos.

3.5.4 Análises efetuadas na polpa após o cozimento

Após o cozimento, depuração e lavagem da polpa foram determinados número kappa, alvura, solubilidade em NaOH (S_5) e viscosidade intrínseca.

3.6 Determinação do número kappa

O número kappa dá uma indicação da lignina residual da polpa, sendo que multiplicado pela constante 0,15 temos uma estimativa muito confiável da lignina na polpa kraft. A determinação desta análise foi realizada segundo a norma da International Organization for Standardization (ISO 302: 1981).

3.7 Determinação da alvura

O ensaio de alvura que mede a refletância de ondas eletromagnéticas na faixa do azul (457nm) sobre a folha de celulose em relação a um padrão, foi realizado segundo a metodologia ISO 2470: 1977.

3.8 Determinação da solubilidade em NaOH a 5% (S_5)

A solubilidade da polpa em soda cáustica a frio na concentração de 5% foi feita através da metodologia ISO 692: 1982.

3.9 Determinação da viscosidade intrínseca

Essa análise fornece bons indicadores para avaliar a degradação dos polímeros de celulose. A determinação foi segundo a metodologia ISO 5351-1:1981.

3.10 Deslignificação alcalina com oxigênio molecular

Este procedimento, também conhecido como pré-branqueamento, consiste na oxidação da lignina da celulose não branqueada com oxigênio sob pressão, em condições alcalinas para extração dos compostos oxidados. Essa técnica simula as condições de descompressão em uma torre pressurizada de fluxo ascendente. As taxas de descompressão estão descritas abaixo. Para isso usou-se um digestor elétrico com capacidade de 20 litros, cabendo 2 amostras em 4 provetas de vidro por vez. As amostras eram colocadas em 2 provetas em lados opostos, fechadas com algodão e submersas em água quente (banho-maria), tomando-se o cuidado de não entrar água nas provetas.

A deslignificação foi feita conforme a metodologia encontrada nos Documentos Técnicos da Klabin Riocell S.A. (DT – 3013 – 062 – 07 – 3).

Foram usadas as seguintes condições na deslignificação:

Pressão inicial do oxigênio: 7 kgf/cm²
Pressão do oxigênio após 10 minutos: 6 kgf/cm²
Pressão do oxigênio após 20 minutos: 5 kgf/cm²
Pressão do oxigênio após 30 minutos: 4 kgf/cm²
Pressão do oxigênio até 40 minutos: 3 kgf/cm²
Tempo total: 40 minutos
Temperatura: 95ºC
Consistência de trabalho: 12%
Carga de NaOH aplicada: 1,667% base celulose absolutamente seca

Após essa deslignificação as polpas passaram pelos testes de alvura, número kappa, S_5 e viscosidade intrínseca.

3.11 Branqueamento

As amostras passaram pelos estágios D_1EoD_2 de branqueamento, complementado por lavagem ácida com SO_2, essa última realizada para manter a estabilidade da alvura eliminando o cloro residual na polpa. O Quadro 6 demonstra as condições de branqueamento a que as polpas foram submetidas.

- D_i: estágios de branqueamento com dióxido de cloro
- Eo : extração alcalina com NaOH

- SO_2 : lavagem ácida com dióxido enxofre

As cargas de reagentes aplicadas foram sempre calculadas com base no peso absolutamente seco da celulose deslignificada com oxigênio que ingressava para o branqueamento. Para o cloro ativo aplicado no estágio D_0, variava-se a carga conforme o número kappa inicial da celulose. Posteriormente, todas as adições de reagentes eram constantes para todas as celuloses.

QUADRO 6 - Condições de branqueamento.

	Estágios			
	D_1	E_o	D_2	SO_2
Carga de cloro ativo (%)	Nº kappa x 0,2	-	2,5	-
Carga de NaOH (%)	-	1,7	-	-
Carga de SO_2 (%)	-	-	-	0,25
Consistência de trabalho (%)	10	12	10	5
Tempo de reação (min.)	30	60	120	10
Temperatura de reação (ºC)	75	90	75	Ambiente

3.11.1 Estágio D_1

Esse estágio de branqueamento foi realizado de acordo com as condições citadas no quadro anterior. A adição do dióxido de cloro foi aplicada na polpa dentro de um saco plástico e para atingir e se manter a temperatura a 75ºC, foi usado um banho-maria, aquecido eletricamente e controlado por um termostato. A carga de cloro ativo

aplicado foi calculada a partir da relação: 0,2 x nº kappa, expressa como percentagem base polpa absolutamente seca.

3.11.2 Estágio E_o

Na extração alcalina, utilizou-se o mesmo digestor usado na deslignificação alcalina com oxigênio, variando a carga de soda, pressão, temperatura de reação e a taxa de descompressão.

Neste ensaio as amostras foram submetidas às seguintes condições:

Pressão inicial do oxigênio: 6 kgf/cm²
Pressão do oxigênio após 20 minutos: 5 kgf/cm²
Pressão do oxigênio após 40 minutos: 4 kgf/cm²
Pressão do oxigênio até 60 minutos: 3 kgf/cm²
Tempo total: 60 minutos
Temperatura: 90 ºC
Consistência de trabalho: 12%
Carga de Na OH aplicada: 1,7%

3.11.3 Estágio D_2

Nesta fase do branqueamento foram usados procedimentos similares aos do estágio D_1, diferenciando somente o tempo de reação e a carga de cloro ativo, tendo submetido a polpa nesta fase a condições mais prolongadas de tempo de reação.

3.11.4 Estágio SO_2

Esse estágio se caracteriza por ser uma lavagem ácida redutora da polpa com o objetivo de minimizar a reversão da alvura, além da destruição do residual de dióxido de cloro ainda presente nas fibras. Foi o último procedimento na fase de branqueamento. Para verificar a estabilidade da alvura alcançada foram formadas folhas e deixadas na câmara climatizada até atingirem a umidade de equilíbrio. Posteriormente medidas as alvura e levadas para estufa a 105 ± 2°C por 18 horas e medida a alvura novamente para verificar a reversão.

3.11.5 Análises efetuadas na polpa branqueada

Nas polpas branqueadas foram determinadas: alvura e reversão de alvura, S_5 e viscosidade intrínseca. Para avaliar a eficiência do branqueamento foram medidos: cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e cloro residual.

3.12 Refino e ensaios físico-mecânicos da celulose branqueada

No processo de refino das polpas branqueadas foi usado um refinador PFI, segundo a metodologia ISO 5264-2: 1979. Foram avaliadas as propriedades das celuloses a dois graus de refino, 0 revoluções do PFI (sem refino) e 30ºSR (graus Schopper Riegler). Para atingir os 30ºSR, as polpas foram submetidas a diferentes níveis de revoluções do refinador e os valores para os ensaios interpolados por regressão. Ajustou-se uma equação para cada teste para determinar os valores interpolados a 30ºSR de refino

O grau Schopper Riegler que mede a drenabilidade da celulose foi medido conforme a metodologia ISO 5267-1: 1979.

3.12.1 Condições de refino no refinador PFI

As condições adotadas para refino foram segundo a metodologia ISO 5264-2: 1979.

- pH: 6,0 a 6,5
- Consistência da amostra: 10%
- Peso da amostra para cada nível de refino: 30 g absolutamente secas ou 300g úmidas.

3.12.2 Formação de folhas

As folhas possuíam gramatura de 60 ± 1 g/m² e a metodologia usada foi segundo a norma TAPPI 205 om-88. Depois de formadas, as folhas foram acondicionadas em sala climatizada até atingirem equilíbrio a 50 ± 2 % de umidade relativa e temperatura de 23 ± 2ºC. Nesta mesma sala foram realizados todos os testes físico-mecânicos e óticos.

3.12.3 Testes físico-mecânicos e óticos

Nas determinações das propriedades físico-mecânicas e óticas das folhas de papel foram avaliados dois níveis de refino: um com a pasta refinada a 30ºSR e a outra sem refino (0 revoluções).

As seguintes propriedades foram medidas, conforme as respectivas normas de ensaio:

- número de revoluções do PFI para atingir 30ºSR
- gramatura (ISO 536: 1995)
- resistência ao ar Gurley (TAPPI 460 om-88)
- espessura (TAPPI 411 om-89)
- alvura (ISO 2470: 1977)
- opacidade (ISO 2471: 1971)
- resistência à tração (ISO 1924-1: 1992)
- elongação (ISO 1924-2: 1994)
- resistência ao rasgo (ISO 1974: 1990)
- resistência ao estouro (TAPPI 403 om-91)
- volume específico aparente (TAPPI 411 om-89)
- ascensão capilar Klemm (metodologia Klabin Riocell – DT 80220-07-172-3)

3.13 Dimensões das fibras e vasos na celulose branqueada

As polpas foram avaliadas quanto ao número de fibras por grama de celulose absolutamente seca, "*coarseness*", comprimento e diâmetro da fibra, espessura da parede celular, diâmetro do lúmen e teor de finos. Os elementos de vaso foram medidos quanto ao comprimento e diâmetro por microscopia ótica. Sua freqüência na polpa foi medida por contagem em lâmina com suspensão diluída de polpa, e expressos em números de elementos de vasos/grama de celulose.

Para fazer essas mensurações foram usadas as seguintes técnicas:

- microscopia ótica com projeção e uso de ocular micrométrica reticulada (metodologia Klabin Riocell DT – 8040 – 016 – 07 – 1)
- avaliação de fibras pelo analisador de fibras Kajaani F 100 (metodologia Klabin Riocell DT – 3013 – 167 – 07 – 3)

3.14 Valor de retenção de água (*Water retention value* - WRV)

Essa técnica consiste em determinar a capacidade percentual base seu peso seco de retenção de água pela polpa depois de passar

por uma centrífuga a 3600 rpm por 30 minutos. Essa análise segue a metodologia Klabin Riocell DT – 8040 – 019 – 07 – 3.

3.15 Análises estatísticas dos resultados

Nas análises das diferentes misturas foi usado o delineamento experimental inteiramente casualizado, utilizando análises da variância (Anova) testando-se as diferenças estatísticas, pelo teste de significância F e a comparação das médias dos tratamentos através do teste de Tukey ambos com 5% de nível de significância.

Nas demais análises calcularam-se as médias (**X**) e os desvios padrão (DP). Para os dados dendrométricos, determinou-se também o coeficiente de variação (CV).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises dendrométricas

Os resultados das análises dendrométricas estão representados nas Tabelas 1 e 2. A Tabela 1 mostra os valores individuais do volume comercial sem casca, densidade básica média e peso absolutamente seco da madeira comercial de cada árvore. Como se pode verificar nesse quadro, tem-se uma média para volume comercial sem casca de 0,403 m^3 no eucalipto e 0,110 m^3 para bracatinga, mostrando a grande diferença de crescimento entre as espécies, apesar da idade diferente entre os povoamentos amostrados e de este material ser um clone geneticamente melhorado de *Eucalyptus saligna*. As médias das densidades básicas das duas espécies foram de 0,43 g/cm^3 para o eucalipto e 0,57 g/cm^3 na bracatinga. Valor semelhante na densidade básica da bracatinga foi encontrado por Barrichelo & Brito (1982), 0,58 g/cm^3. O peso médio de madeira absolutamente seca por árvore foi de 0,192 toneladas para eucalipto e 0,063 toneladas para bracatinga. Apesar da mais alta densidade básica da madeira de bracatinga, a grande diferença no volume não conseguiu aproximar as árvores das duas espécies em termos de peso, continuando a vantagem para o eucalipto.

TABELA 1 - Valores dendrométricos de volume, densidade e peso.

	Volume comercial sem casca (m^3)		Densidade básica (g/cm^3)		Peso médio da árvore (toneladas de madeira a.s.)	
	eucalipto	bracatinga	eucalipto	bracatinga	eucalipto	bracatinga
Árvore	média/árvore	média/árvore	média/árvore	média/árvore	média/árvore	média/árvore
1	0,415	0,155	0,44	0,58	0,200	0,090
2	0,392	0,089	0,41	0,57	0,178	0,051
3	0,381	0,118	0,41	0,55	0,177	0,065
4	0,401	0,086	0,42	0,56	0,188	0,048
5	0,410	0,059	0,42	0,56	0,192	0,034
6	0,408	0,136	0,43	0,53	0,193	0,073
7	0,398	0,088	0,41	0,57	0,181	0,050
8	0,390	0,124	0,42	0,59	0,184	0,074
9	0,411	0,131	0,42	0,59	0,190	0,078
10	0,389	0,083	0,42	0,59	0,187	0,048
11	0,432	0,138	0,46	0,56	0,220	0,080
12	0,421		0,44		0,203	
13	0,418		0,44		0,204	
14	0,401		0,43		0,192	
15	0,382		0,43		0,187	
média total	**0,403**	**0,110**	**0,43**	**0,57**	**0,192**	**0,062**
CV (%)	3,70	27,20	2,86	3,32	5,86	27,76

Na Tabela 2 descrevem-se os resultados do volume comercial com casca, novamente o volume comercial sem casca, volume com casca e o percentual de casca de cada árvore.

Os dados apresentados na Tabela 2 mostram uma média de 0,450 m^3 para o volume comercial com casca para o eucalipto e para a bracatinga 0,126 m^3, demonstrando menor produtividade florestal para essa última espécie. O volume médio de casca para eucalipto e bracatinga foi de 0,0470 m^3 e 0,0159 m^3 respectivamente. A avaliação do percentual médio para a quantidade volumétrica de casca mostrou 10,46% para eucalipto e 12,48% para a bracatinga. Pode se perceber que apesar da bracatinga possuir maior percentual de casca possui menor quantidade, isso em decorrência do menor volume total de suas árvores em relação ao eucalipto.

TABELA 2 - Dados dendrométricos. de volume comercial com e sem casca, volume de casca e percentual de casca.

	Volume comercial com casca (m³)		Volume comercial sem casca (m³)		Volume de casca (m³)		% de casca base volume	
	eucalipto	bracatinga	eucalipto	bracatinga	eucalipto	bracatinga	eucalipto	bracatinga
Árvore	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
1	0,461	0,181	0,415	0,155	0,046	0,026	9,90	14,36
2	0,433	0,099	0,392	0,089	0,041	0,010	9,45	10,12
3	0,430	0,139	0,381	0,118	0,049	0,021	11,35	14,90
4	0,449	0,097	0,401	0,086	0,047	0,011	10,63	11,68
5	0,455	0,067	0,410	0,059	0,045	0,007	9,97	10,89
6	0,451	0,157	0,408	0,136	0,043	0,020	9,61	12,88
7	0,439	0,100	0,398	0,088	0,041	0,011	9,34	11,50
8	0,439	0,141	0,390	0,124	0,049	0,017	11,22	12,03
9	0,455	0,153	0,411	0,131	0,043	0,021	9,59	14,04
10	0,447	0,098	0,389	0,083	0,058	0,015	12,99	15,12
11	0,483	0,153	0,432	0,138	0,051	0,015	10,63	9,72
12	0,464		0,421		0,043		9,21	
13	0,463		0,418		0,045		9,72	
14	0,446		0,401		0,045		10,15	
15	0,439		0,382		0,057		13,04	
média total	**0,450**	**0,126**	**0,403**	**0,110**	**0,047**	**0,016**	**10,46**	**12,48**
CV (%)	3,10	27,81	3,70	27,20	11,16	35,88	11,73	13,31

4.2 Analises químicas da madeira

Os teores médio de lignina insolúvel em ácido, cinzas, extrativos em diclorometano e álcool tolueno encontrados nas duas amostras são mostrados na Tabela 3.

As médias de extrativos em diclorometano encontradas nas duas espécies diferenciaram muito pouco entre si, sendo 0,21% em eucalipto e 0,20% na madeira de bracatinga. O mesmo aconteceu para os valores de extrativos solúveis em álcool tolueno, encontrando-se 1,45 % para eucalipto e 1,44% para a bracatinga.

TABELA 3 - Teores médios de lignina, cinzas, extrativos solúveis em diclorometano e em álcool tolueno nas madeiras.

Eucalipto	Lignina(%)	Cinzas(%)	DCM(%)	Álcool tolueno(%)
1ª repetição	23,4	0,85	0,18	1,51
2ª repetição	23,5	0,84	0,23	1,42
3ª repetição	23,2	0,83	0,22	1,41
Média	**23,4**	**0,84**	**0,21**	**1,45**
D.P.	0,152	0,010	0,026	0,055
Bracatinga	Lignina(%)	Cinzas(%)	DCM(%)	Álcool tolueno(%)
1ª repetição	23,4	0,38	0,2	1,48
2ª repetição	23,2	0,35	0,16	1,45
3ª repetição	22,9	0,35	0,25	1,4
Média	**23,2**	**0,36**	**0,20**	**1,44**
DP	0,252	0,017	0,045	0,040

DCM = Extrativos em diclorometano; DP = desvio padrão

Os percentuais médios de lignina não tiveram grande diferença entre as duas espécies avaliadas, apenas 0,2% a mais base madeira absolutamente seca para o eucalipto. Os valores médios de lignina encontrados na madeira de *Eucalyptus saligna* foram superiores aos 20,47% medidos por Flores (1999). Já a média encontrada na *Mimosa scabrella* foi inferior ao teor médio de lignina de 25,8% determinado por Sturion & Silva (1989).

Como se demostrou na Tabela 3, os valores médios de cinzas no eucalipto e na bracatinga foram de 0,84% e 0,36% respectivamente.

Em *Eucalyptus saligna*, Flores (1999), Foelkel & Sani (1977) e Lima *et al.*(1993) encontraram valores muito próximos a 0,30% de cinzas na madeira. Vital *et al*.(1994) encontrou valores mais elevados nessa mesma espécie, em torno de 0,77%, dando indicações de que existe uma certa variação para essa propriedade, provavelmente em função de características genéticas e de riqueza de solo.

4.3 Características das fibras e vasos da celulose branqueada

Foram mensuradas na celulose branqueada o número de vasos por grama de celulose absolutamente seca, o comprimento médio das fibras maiores que 0,25 mm, o "*coarseness*", o número de fibras maiores que 0,25 mm/grama de celulose absolutamente seca, o teor de finos, o valor de retenção de água (WRV) e as medições óticas de fibras inteiras e vasos inteiros (comprimento e largura dos vaso, comprimento das fibras, largura das fibras, espessura da parede e diâmetro do lúmen).

4.3.1 Número vasos/grama

Encontrou-se maior número de vasos na celulose de bracatinga, 83.333 unidades, e em menor quantidade na polpa de eucalipto, 51.150 elementos de vaso por grama de polpa absolutamente seca. Esse aspecto demostra a melhor qualidade da polpa branqueada de eucalipto com menor número de vasos, principalmente na utilização para papéis de impressão, onde os vasos costumam trazer problemas na mesma.

4.3.2 Análise de fibras no analisador Kajaani F 100

Os resultados das análises feitas com o aparelho Kajaani estão representados na Tabela 4. Nas mensurações feitas por esse analisador de fibras, nota-se que as fibras da bracatinga têm comprimento ligeiramente maior que o eucalipto.

Pelo fato da madeira da bracatinga possuir maior densidade, observa-se que o peso de 100 metros de fibras hipoteticamente postas enfileiradas pelas extremidades (“*coarseness*”) é maior, com 10,78 mg contra 8,35 mg no eucalipto. Pela maior densidade da madeira da espécie, o que pode representar fibras mais pesadas, o número de fibras por grama de celulose na bracatinga é menor, 15,8 x 10^6 contra 21,45 x 10^6 para o eucalipto. O teor de finos medidos pelo Kajaani é

maior no eucalipto, 4,43% de finos e 3,85% na bracatinga. Em função desses resultados, é de esperar comportamento distinto entre as espécies nas propriedades físico-mecânicas e óticas, ficando o eucalipto com melhores resultados potenciais para opacidade e a bracatinga para volume específico aparente e ascensão capilar de água.

TABELA 4 - Resultados do analisador de fibras Kajaani F 100.

	Eucalipto	Bracatinga
Comprimento médio das fibras com mais que 0,25 mm	0,67 mm	0,71 mm
"*Coarseness*" (mg/100m)	8,35	10,78
Nº de fibras com mais de 0,25 mm / grama absolutamente seca	$21,45 \times 10^6$	$15,8 \times 10^6$
Teor de finos (%)	4,43	3,85

4.3.3 Valor de retenção de água (*Water retention value* - WRV)

Nesse ensaio, as fibras de eucalipto tiveram maior retenção de água, 178,45%, contra 145,6% para a bracatinga, sendo mais indicadas para papéis que demandam absorção de água. Como as fibras de eucalipto são mais numerosas, devem possuir mais espaço para reter a água nos lúmens, na porosidade da parede celular e entre

fibras. O menor WRV favorece a drenagem na parte úmida na máquina de papel.

4.3.4 Análises anatômicas de fibras e vasos na celulose branqueada.

As determinações anatômicas com microscopia ótica demostraram maiores comprimentos das fibras que os obtidos nas mensurações feitas pelo analisador Kajaani, uma vez que só são mensuradas fibras inteiras. Na medição do comprimento da fibra com microscopia ótica há a seleção somente de fibras inteiras, enquanto no analisador Kajaani tira-se a média das fibras quebradas ou não, com comprimento acima de 0,25 mm. O valor acima de 0,25 mm é arbitrariamente escolhido, pois elementos anatômicos menores que 0,25 mm ou não são fibras, ou são apenas fragmentos de fibras.

Nessa análise, as fibras da bracatinga diferenciaram-se por serem mais largas, 25,20 µm, contra 21,40 µm de largura no eucalipto. Notou-se pequena diferença no comprimento, 1,076 mm para eucalipto e 1,042 mm para a bracatinga. As maiores diferenças ocorreram com a espessura da parede celular, 6,39 µm na bracatinga e 4,72 µm para o eucalipto. A bracatinga também apresentava o diâmetro do lúmen ligeiramente maior, 12,38 µm, e 11,94 µm para o eucalipto. Os valores encontrados por Barrichelo & Brito (1982) nas fibras de bracatinga foram de 0,97 mm de comprimento, 23,5 µm de largura, 11,0 µm de diâmetro do lúmen e 6,2 µm na espessura da

parede. Em outro estudo feito por Barrichelo (1968), encontraram-se valores um pouco maiores nas dimensões anatômicas das fibras da bracatinga: foi de 1,17 mm o comprimento, 25,8 µm a largura, 14,3 µm o diâmetro do lúmen e a espessura da parede apresentou um valor inferior, 5,7 µm. Conclusivamente, pode-se dizer que as fibras da bracatinga são ligeiramente mais largas, têm mesmo comprimento, mas têm maior espessura de parede que as fibras do *E. saligna*, para essas faixas encontradas de densidade básica da madeira.

Os elementos de vasos do eucalipto possuem maiores dimensões, mas são em menor número. Observa-se que cada elemento de vaso do eucalipto ocupa em média uma área de aproximadamente 0,172 mm^2 quando na posição longitudinal na folha de celulose, e os da bracatinga 0,123 mm^2 (diâmetro vezes a largura)

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos através das mensurações com microscopia ótica das fibras e dos vasos.

TABELA 5 - Dimensões anatômicas das fibras na celulose branqueada.

		Comprimento das fibras	Largura das fibras	Espessura da parede celular	Diâmetro do lúmen
Eucalipto	**Média**	**1,076 mm**	**21,40 µm**	**4,72 µm**	**11,94 µm**
	D. P	0,1778	4,2798	1,2902	4,2798
Bracatinga	**Média**	**1,042 mm**	**25,17 µm**	**6,39 µm**	**12,38 µm**
	D. P	0,1609	5,4402	1,9257	5,4270

TABELA 6 – Comprimento e largura dos vasos na celulose branqueada.

		Comprimento dos vasos	Largura dos vasos
Eucalipto	**Média**	**0,513 mm**	**0,335 mm**
	D. P	0,0922	0,0622
Bracatinga	**Média**	**0,411 mm**	**0,300mm**
	D. P	0,0533	0,0467

4.4 Cozimento

A avaliação dos resultados dos cozimentos permitiu detectar a influência dos tratamentos no que diz respeito à adição da bracatinga no comportamento da polpa não branqueada. Frente às diferenças nas qualidades tecnológicas das madeiras das duas espécies, todos os parâmetros analisados apresentaram resultados significativos, o que demonstra que havia a influência do teor de bracatinga nos resultados em análise, principalmente no que se diz respeito ao tratamento constituído apenas de madeira de bracatinga.

Na Tabela 7 estão representados os valores médios do rendimento bruto, número kappa (nº kappa), viscosidade intrínseca, solubilidade em solução de NaOH a 5% (S_5) e alvura da polpa não branqueada após os cozimentos e lavagem da mesma.

TABELA 7 – Determinações do rendimento bruto, número kappa, viscosidade intrínseca, S_5 e alvura das celuloses não branqueadas.

TRATAMENTOS		Rendimento bruto (%)	Número kappa	Viscosidade intrínseca (cm^2/g)	S_5 (%)	Alvura (% ISO)
100% eucalipto		**50,5**	**16,0**	**1062**	**10,2**	**40,3**
5% bracatinga		**50,1**	**15,6**	**1040**	**10,2**	**39,7**
10 % bracatinga		**50,1**	**16,2**	**1075**	**10,7**	**39,5**
20% bracatinga		**51,3**	**16,4**	**1072**	**11,0**	**37,9**
100% bracatinga		**51,3**	**16,2**	**955**	**11,4**	**34,2**
ANOVA	F	4,507	5,761	18,253	9,573	42,053
	Sig	S	S	S	S	S

Sig: Nível de significância igual a 5%
S: Significativo

As quantidades de rejeitos retidas no depurador apresentaram valores inferiores a 0,01 % em todas as situações, desprezando-as assim e também o cálculo e análise dos rendimentos depurados. Pelo valor de F, a alvura foi a propriedade que sofreu maior influência na polpa marrom com a adição de bracatinga, sendo o F calculado igual a 42,053. Seguiram-se a viscosidade intrínseca com um F de 18,253 e o S_5 com 9,573. O valor de F na análise de variância do rendimento bruto e do número kappa foi muito próximo ao valor de F tabelado. Por isso, foi notada diferença estatística na ANOVA, porém não foi notada diferença na comparação das médias dos diversos tratamentos pelo teste de Tukey. Apesar disso, a madeira de bracatinga mostra-se bastante interessante por conduzir a maiores rendimentos em celulose em relação ao eucalipto (51,3% versos 50,5%). Associando-se essa propriedade à sua maior densidade básica (0,57 g/cm^3 para bracatinga e 0,43 g/cm^3 para o eucalipto), o resultado é menor consumo específico de madeira por tonelada de celulose produzida a partir da

bracatinga. Teoricamente, sem considerar perdas de madeira no processamento industrial, os consumos específicos calculados para bracatinga e eucalipto são respectivamente 3,42 e 4,60 metros cúbicos de madeira por tonelada absolutamente seca de celulose não branqueada.

O teste de Tukey identificou as médias com diferenças estatisticamente significativas. Esses contrastes estão representados pelas letras a, b, c, na Tabela 8: as médias com letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey, enquanto as médias com mesma letra não diferem estatisticamente no nível de significância adotado de 5%. Todas as análises foram avaliadas com este teste: rendimento bruto, número kappa (nº kappa), viscosidade intrínseca, solubilidade em solução de NaOH a 5% (S_5) e alvura.

TABELA 8 - Teste de Tukey para as análises dos cozimentos.

Tratamentos	Rendimento bruto	Nº kappa	S_5	Viscosidade intrínseca	Alvura
100% eucalipto	a	a	a	a	a
5% bracatinga	a	a	a	a	a
10 % bracatinga	a	a	ab	a	ab
20% bracatinga	a	a	ab	a	b
100% bracatinga	a	a	b	b	c

A tabela anterior demonstra que as médias dos tratamentos para rendimento bruto e número kappa não se diferenciaram estatisticamente. Nos tratamentos com 100% eucalipto, 5% bracatinga e 10 % bracatinga, a alvura não sofreu influência significativa, já no tratamento com 20% de madeira de bracatinga, decaiu a alvura da polpa, sendo menor ainda na polpa pura de bracatinga. A viscosidade

intrínseca só foi alterada no tratamento com 100% de bracatinga e a solubilidade em soda a 5% começou a aumentar com o acréscimo de 10% de bracatinga na polpa. Pode-se dizer que até 10% de bracatinga na composição dos cavacos não se notaram diferenças estatisticamente importantes para as celuloses não branqueadas.

Após o cozimento, o licor negro residual foi avaliado para determinar o álcali efetivo residual. Através dessa determinação e dos álcalis ativo e efetivo originalmente aplicados, calculou-se o álcali efetivo consumido base madeira absolutamente seca. Os resultados médios dessas análises estão demostrados nas Tabelas 9 e 10.

TABELA 9 - Álcali ativo aplicado, álcali efetivo aplicado, álcali efetivo residual e álcali efetivo consumido (resultados base madeira absolutamente seca).

	100% eucalipto	5% bracatinga	10% bracatinga	20% bracatinga	100% bracatinga
Álcali ativo aplicado (%)	20	20	20	20	23
Álcali efetivo aplicado (%)	18,0	18,0	18,0	18,0	20,7
Álcali efetivo residual (%)	2,46	2,62	2,31	2,07	4,18
Álcali efetivo consumido (%)	15,54	15,38	15,69	15,93	16,52

TABELA 10 - Teste de Tukey do álcali efetivo consumido.

álcali efetivo consumido	
100% eucalipto	a
5% bracatinga	a
10 % bracatinga	a
20% bracatinga	ab
100% bracatinga	b

Pela condição mais severa dos álcalis ativo e efetivo aplicados no cozimento com 100% de bracatinga, acabou-se encontrando um maior valor médio de álcali efetivo residual para esse tratamento. Ficou em torno de 2,4% nos licores das misturas e do eucalipto e 4,2% de álcali efetivo residual nos cozimentos de bracatinga pura. Os valores de álcali efetivo consumidos pelos cozimentos de bracatinga pura foram cerca de 1% superiores base madeira absolutamente seca. Caso não se aumentasse o álcali para o cozimento da bracatinga pura, não se conseguiriam os valores objetivados de número kappa. Em parte, a maior dificuldade de cozimento da madeira de bracatinga pode estar associado a sua maior densidade básica, o que dificulta a penetração do licor e a conseqüente polpação.

4.5 Deslignificação alcalina com oxigênio

Na oxidação da lignina com oxigênio, os tratamentos apresentaram comportamentos distintos nas diferentes análises efetuadas para sua avaliação. Entretanto, a bracatinga pura seguiu suas tendências de piores alvuras e melhores resultados para solubilidade em soda a 5%. Os resultados médios de número kappa, S_5%, viscosidade intrínseca e alvura após a deslignificação com oxigênio estão na Tabela 11.

TABELA 11 - Resultados da deslignificação com oxigênio: número kappa, S_5, viscosidade intrínseca e alvura.

		Número kappa	S_5 (%)	Viscosidade intrínseca (cm^2/g)	Alvura (%ISO)
100% eucalipto		10,6	9,4	940	55,7
5% bracatinga		10,4	9,4	930	54,5
10 % bracatinga		11,0	9,9	980	52,8
20% bracatinga		11,0	10,3	960	52,4
100% bracatinga		9,7	11,2	890	45,5
ANOVA	F	19,409	32,538	9,844	119,618
	Sig	S	S	S	S

Sig: Nível de significância igual a 5%
S: Significativo

Na Tabela 12 observa-se as diferenças significativas entres as médias dos tratamentos na deslignificação com oxigênio indicado pelo teste de Tukey.

TABELA 12 - Teste de Tukey para as analises da deslignificação com oxigênio.

Tratamentos	Número kappa	S_5	Viscosidade intrínseca	Alvura
100% eucalipto	ab	a	a	a
5% bracatinga	b	ab	ab	a
10 % bracatinga	a	abc	a	b
20% bracatinga	a	c	a	b
100% bracatinga	c	d	bc	c

Apesar do número kappa ter significância estatística após a aplicação de oxigênio na polpa marrom, manteve-se dentro dos limites especificados (10 ± 1), para essa análise no branqueamento.

A preservação de hemiceluloses na polpa medidas pelo S_5, indicou aumento a partir de 20 % de bracatinga, o que é um fator

positivo para essa mistura. A viscosidade intrínseca alterou-se expressivamente apenas na bracatinga pura. A alvura decaiu a partir do acréscimo de 10% de bracatinga na polpa e ficou mais baixa ainda na polpa de bracatinga pura.

4.6 Branqueamento

As Tabelas 13 e 14 mostram que não se conseguiu atingir alvuras superiores a 90º ISO para a polpa de bracatinga. Apesar disso a polpa de bracatinga branqueou bem, pois partiu de alvuras iniciais menores. Um branqueamento mais otimizado para a polpa de 100% de bracatinga com certeza possibilitaria alvuras melhores. Notou-se que com 20% de mistura dessa espécie decaiu significativamente a alvura, sendo a propriedade mais afetada com o acréscimo de bracatinga (F = 33,3). A viscosidade intrínseca teve a menor influência dos tratamentos (F = 8,3), não sendo essas diferenças encontradas tecnologicamente importantes.

A solubilidade em soluções de soda a 5% da polpa após o branqueamento comportou-se como é demonstrado na Tabela 12. Pelo teste de Tukey os tratamentos com as mesmas letras não diferem. Sendo assim, a polpa branqueada de bracatinga pura difere das demais por apresentar maior valor, sendo que as polpas de 5% e 20 % de bracatinga diferem entre si. De qualquer forma, notou-se a tendência da madeira de bracatinga colaborar para aumento dessa propriedade.

TABELA 13 - S_5, viscosidade intrínseca e alvura das celuloses branqueadas.

		S_5 (%)	Viscosidade intrínseca (cm^2/g)	Alvura (%IS0)
100% eucalipto		8,4	810	90,4
5% bracatinga		8,2	790	90,3
10 % bracatinga		8,9	820	90,2
20% bracatinga		9,1	820	89,8
100% bracatinga		10,6	770	88,5
ANOVA	F	30,316	8,311	33,345
	Sig	S	S	S

Sig: Nível de significância igual a 5%
S: Significativo

TABELA 14 - Teste de Tukey para as análises do branqueamento.

Tratamentos	S_5	Viscosidade intrínseca	Alvura
100% eucalipto	ab	ab	a
5% bracatinga	a	ab	ab
10 % bracatinga	ab	b	ab
20% bracatinga	b	b	b
100% bracatinga	c	a	c

A reversão da alvura (alvura revertida) seguiu as mesmas tendências, diferenciando mais acentuadamente nas polpas puras de bracatinga. Esse comportamento pode ser observado nas tabelas 15 e 16.

TABELA 15 - Reversão da alvura (% IS0).

		Alvura após o branqueamento	Alvura revertida
100% eucalipto		90,4	83,3
5% bracatinga		90,3	84,1
10 % bracatinga		90,2	83,9
20% bracatinga		89,8	83,1
100% bracatinga		88,5	81,0
ANOVA	F	33,345	15,94
	Sig	S	S

Sig: Nível de significância igual a 5%
S: Significativo

TABELA 16 - Teste de Tukey para reversão da alvura.

Reversão da alvura	Alvura revertida
100% eucalipto	a
5% bracatinga	a
10 % bracatinga	a
20% bracatinga	a
100% bracatinga	b

Nas Tabela 17 e 18 estão apresentados os valores de cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e o residual de cloro após o branqueamento. O quadro 15 mostra os resultados do estágio D_1, o Quadro 16 do estágio D_2.

Percebe-se que o residual de cloro em D_1 é baixo, sendo nulo em polpa com 100% de bracatinga. A maior média nesse estágio é do tratamento com 10% de bracatinga 0,036%; decrescendo temos 20% bracatinga com 0,023%, 100% eucalipto com 0,014% e 0,003% de

cloro residual na mistura de 5% com bracatinga. Esse baixo residual de cloro ativo deve-se ao fato das polpas mostrarem alta reatividade pelo dióxido de cloro, consumindo-o quase totalmente, o que é desejável nesse estágio. Entretanto faltou cloro ativo para a celulose com 100% de bracatinga nesse estágio, indicando que esse estágio mereceria maiores otimizações.

TABELA 17 - Cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e residual de cloro no estágio D_1.

ESTÁGIO D_1	Repetição	Cloro ativo aplicado (%)	Cloro ativo consumido (%)	Residual de cloro (%)	Média do residual de cloro (%)
100% eucalipto	1	2,17	2,170	0,000	0,014
	2	2,10	2,100	0,000	
	3	2,07	2,063	0,007	
	4	2,08	2,030	0,050	
5% bracatinga	1	2,12	2,109	0,011	0,003
	2	2,10	2,100	0,000	
	3	2,10	2,100	0,000	
	4	1,96	1,960	0,000	
10% bracatinga	1	2,26	2,242	0,018	0,036
	2	2,18	2,171	0,009	
	3	2,16	2,152	0,008	
	4	2,20	2,092	0,108	
20% bracatinga	1	2,16	2,124	0,036	0,023
	2	2,20	2,200	0,000	
	3	2,26	2,205	0,055	
	4	2,14	2,140	0,000	
100% bracatinga.	1	1,92	1,920	0,000	0,000
	2	1,90	1,900	0,000	
	3	2,00	2,000	0,000	
	4	1,94	1,940	0,000	

O residual de cloro em D_2 é mais elevado que em D_1. A maior média nesse estágio é do tratamento com 100% de bracatinga apresentando 0,147% de cloro residual, comportamento contrário ao estágio anterior, onde foi nulo. Como no estágio D_1 faltou cloro para a polpa de bracatinga e no estágio D_2 essa celulose não consumiu todo o dióxido de cloro aplicado, acredita-se que adequando-se as condições de branqueamento seria possível atingir valores mais elevados de alvura. As demais médias foram de 0,124% no tratamento com 20% de bracatinga, 0,073% para 5% bracatinga, 0,060 % na polpa de eucalipto pura e 0,052% de cloro residual na mistura de com 10% de bracatinga. Os resultados indicam uma menor velocidade no consumo de dióxido de cloro para as polpas contendo quantidades maiores de bracatinga. É possível então que a alvura da celulose de bracatinga pudesse ser melhorada caso o tempo e/ou a temperatura do estágio fossem aumentados.

TABELA 18 - Cloro ativo aplicado, cloro ativo consumido e residual de cloro no estágio D_2.

ESTÁGIO D_2	Repetição	Cloro ativo aplicado (%)	Cloro ativo consumido (%)	Residual de cloro (%)	Média do residual de cloro (%)
100% eucalipto	1	2,50	2,433	0,067	0,059
	2	2,50	2,463	0,037	
	3	2,50	2,396	0,104	
	4	2,50	2,470	0,030	
5% bracatinga	1	2,50	2,380	0,120	0,073
	2	2,50	2,486	0,014	
	3	2,50	2,419	0,081	
	4	2,50	2,423	0,077	
10% bracatinga	1	2,50	2,424	0,076	0,052
	2	2,50	2,500	0,000	
	3	2,50	2,469	0,031	
	4	2,50	2,400	0,100	
20% bracatinga	1	2,50	2,430	0,070	0,123
	2	2,50	2,426	0,074	
	3	2,50	2,340	0,160	
	4	2,50	2,310	0,190	
100% bracatinga.	1	2,50	2,310	0,190	0,148
	2	2,50	2,378	0,122	
	3	2,50	2,367	0,133	
	4	2,50	2,354	0,146	

4.7 Efeitos do cozimento, da deslignificação alcalina com oxigênio e branqueamento

Para fins de melhor visualização do que foi até agora discutido, na Tabela 19 está representado o comportamento do número kappa, solubilidade da polpa em solução de NaOH a 5% (S_5), viscosidade intrínseca e alvura de todos os tratamentos após o cozimento, deslignificação alcalina com oxigênio e branqueamento.

TABELA 19 - Efeitos das deslignificações e branqueamento sobre as características das celuloses.

		100% eucalipto	5% bracatinga	10% bracatinga	20% bracatinga	100% bracatinga
Nº kappa	Cozimento	16,0	15,6	16,2	16,4	16,2
	Oxigênio	10,6	10,4	11,0	11,0	9,7
S_5	Cozimento	10,4	10,2	10,8	11,0	11,4
	Oxigênio	9,4	9,4	9,9	10,3	11,2
	Branqueamento	8,4	8,2	8,9	9,1	10,6
Viscosidade intrínseca	Cozimento	1060	1040	1080	1070	960
	Oxigênio	940	930	980	960	890
	Branqueamento	810	790	820	820	770
Alvura	Cozimento	40,3	39,7	39,5	37,9	34,2
	Oxigênio	55,7	54,5	52,8	52,4	45,5
	Branqueamento	90,4	90,3	90,2	89,8	88,5

Os graus de drenabilidade Schopper Riegler (ºSR) conjuntamente com a energia de refino em número de revoluções no refinador PFI para atingir 30ºSR estão na Tabela 20. Na tabela 21 está representado o resultado do teste de Tukey para essas análises.

TABELA 20- Graus de drenabilidade Schopper Riegler (ºSR) e energia de refino em número de revoluções do refinador PFI.

		°SR das polpas sem refinar	Revoluções para atingir 30ºSR ($X10^3$)
100% eucalipto		15	2,7
5% bracatinga		15	2,7
10%bracatinga		14	2,7
20%bracatinga		14	2,7
100%bracatinga		12	2,8
ANOVA	F	26,481	3,592
	Sig	S	NS

TABELA 21 - Teste de Tukey para grau de drenabilidade Schopper Riegler (ºSR) e para energia de refino aplicada no refinador PFI.

Tratamentos	ºSR das polpas sem refinar	Revoluções para 30ºSR
100% eucalipto	a	a
5% bracatinga	a	a
10 % bracatinga	a	a
20% bracatinga	a	a
100% bracatinga	b	a

Como pode ser observado na Tabela do teste de Tukey, o grau de drenabilidade Schopper Riegler para polpa sem refino difere estatisticamente somente na celulose pura de bracatinga, sendo excepcionalmente mais baixos. Explica-se isso pela menor população fibrosa da celulose de bracatinga e seu menor valor de retenção de água, o que favorece a drenagem da água através da estrutura da manta de fibras formada no teste. As quantidades de revoluções do refinador PFI para se atingir 30ºSR em todas as polpas não diferiram entre si, mostrando que todas as polpas são igualmente refinadas para esse nível de drenabilidade.

4.9 Testes físico-mecânicos das polpas branqueadas

O índice de tração, a elongação, o índice de estouro e o índice de rasgo são representados em seus valores médios na tabela

22, para polpas sem refino e refinadas a 30ºSR. Em condições semelhantes de cozimento com polpas de *Eucalyptus saligna* com e sem refino, os testes de resistência desse estudo mostraram valores ligeiramente superiores aos encontrados por (Jerônimo, 1997).

A adição crescente de bracatinga na mistura tende a ir gradualmente reduzindo a resistência à tração, sendo que a polpa de 100% de bracatinga é significativamente mais fraca para essa propriedade nos dois níveis de refino.

O teste de elongação nas polpas branqueadas sem refino tiveram a mesma média em todos os tratamentos (2,1%). Nas polpas refinadas, a elongação das polpas refinadas em celulose de eucalipto puro teve valor pouco superior às misturas, mas diferenciou-se estatisticamente a polpa de bracatinga que foi o pior tratamento. O teste de Tukey da tabela 23 mostra que a elongação tem o mesmo comportamento do índice de tração. Essas propriedades estão intimamente relacionadas por determinar a elasticidade e a resistências das fibras interligadas na formação de uma folha, a uma força de tração oposta.

A resistência ao estouro das polpas refinadas a 30ºSR começaram a cair significativamente com o acréscimo de 10 % de bracatinga e a polpa de bracatinga pura apresentou qualidade inferior às demais. As polpas sem refino sofreram menor influência dos tratamentos no teste de resistência ao estouro, mas seguiram as mesmas tendências das pastas refinadas.

O teste de Tukey da tabela 23 mostra que o índice de rasgo não sofreu interferência nas misturas, diferenciando-se apenas em

relação à polpa de 100% bracatinga, que foi o tratamento com celuloses mais fracas em relação ao rasgo.

TABELA 22 – Índice de tração, elongação, índice de estouro e índice de rasgo.

		Índice de tração (N.m/g)		Elongação (%)		Índice de estouro (kPa.m^2/g)		Índice de rasgo (mN.m²/g)	
		Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR
100% eucalipto		26,9	86,3	2,1	4,9	1,15	8,40	5,95	13,33
5% bracatinga		25,2	85,2	2,1	4,3	1,00	8,13	5,85	13,1
10% bracatinga		25,9	85,2	2,1	4,5	1,13	7,83	5,43	12,58
20% bracatinga		25,5	83,5	2,1	4,6	1,03	7,93	5,53	12,75
100%bracatinga		14,2	61,6	2,1	3,5	0,3	4,8	2,2	9,15
ANOVA	F	39,50	68,21	0	21,21	29,89	131,9	44,69	46,83
	Sig	S	S	NS	S	S	S	S	S

TABELA 23 - Teste de Tukey para índice tração, elongação, índice de estouro e índice de rasgo.

	Índice de tração		Elongação		Índice de estouro		Índice de rasgo	
	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR
100% eucalipto	a	a	a	a	a	a	a	a
5% bracatinga	b	ab	a	ab	a	ab	a	a
10 % bracatinga	ab	ab	a	ab	a	b	a	a
20% bracatinga	ab	ab	a	ab	a	b	a	a
100% bracatinga	c	b	a	b	b	c	b	b

Na tabela 24 estão representados os valores médios do volume especifico aparente, resistência ao ar e ascensão capilar Klemm das folhas de celulose branqueadas.

Somente as polpas de bracatinga pura, com e sem refino tiveram valores significativos quanto a médias diferentes para o volume especifico aparente, mas nota-se um sensível aumento dessa propriedade com a adição de bracatinga.

Na resistência ao ar Gurley, os resultados das pastas refinadas a 30ºSR tiveram decréscimo de valor com as misturas, mas somente foram acusados em bracatinga pura diferenças significativas no teste de Tukey, conforme a tabela 25. Nessa situação, a resistência à passagem de ar foi menor, ou seja as folhas de polpa de bracatinga foram mais porosas, o que é uma vantagem para papeis sanitários e papeis filtro.

Na ascensão capilar Klemm, verifica-se pouca influência dos tratamentos iniciais de misturas, diferenciando a partir do acréscimo de 20% de bracatinga. As polpas sem refino foram mais afetadas pelos tratamentos, apresentando valor de F superior, mas também teve o mesmo comportamento que as polpas refinadas como demonstra o teste de Tukey para ascensão capilar na tabela 25. Seguindo a tendência demonstrada de produzir polpas volumosas e porosas, o teste de ascensão capilar Klemm para a polpa de 100% bracatinga mostrou o que se esperaria de tal celulose, ou seja, uma maior ascensão de água pela rede porosa da folha.

TABELA 24 – Análises do volume específico aparente, resistência ao ar e ascensão capilar Klemm.

		Volume específico (cm³/g)		Resistência ao ar (seg/100 cm³)		Ascensão capilar (mm/10 min)	
		Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR	Sem refino	Refino 30ºSR
100% eucalipto		2,07	1,48	0,95	15,60	100,6	42,25
5% bracatinga		2,17	1,52	0,73	10,71	111,6	46,75
10% bracatinga		2,14	1,51	0,83	11,18	106,0	44,12
20% bracatinga		2,14	1,52	0,78	12,15	106,5	46,98
100% bracatinga		2,46	1,64	0,26	3,16	133,6	60,25
ANOVA	F	24,24	16,59	28,03	15,48	17,50	7,35
	Sig	S	S	S	S	S	S

TABELA 25 - Teste de Tukey para volume especifico aparente, resistência ao ar e ascensão capilar Klemm.

	Volume específico aparente		Resistência ao ar		Ascensão capilar Klemm	
	Sem refino	Refino 30SRº	Sem refino	Refino 30SRº	Sem refino	Refino 30SRº
100% eucalipto	a	a	a	a	a	a
5% bracatinga	a	a	b	a	a	a
10 % bracatinga	a	a	ab	a	a	a
20% bracatinga	a	a	ab	a	b	b
100% bracatinga	b	b	c	b	b	b

A análise de variância dos testes óticos apresentada na Tabela 26 mostrou que a opacidade sofreu maior influência que a alvura por ação dos tratamentos. Entretanto, pelas médias da alvura tem-se uma visão do prejuízo que causa o acréscimo de bracatinga na

qualidade da polpa para essa propriedade. O teste de Tukey na tabela 27 acusa diferenças das médias do tratamento 20 % e 100 % bracatinga em relação aos demais tratamentos. É certo que essa qualidade inferior da alvura na celulose de bracatinga poderia ser contornada por otimização das condições no branqueamento. Por outro lado, uma elevação de alvura poderia conduzir a maior degradação das moléculas de celulose e a resultados ainda inferiores de propriedades de resistência.

Quanto a opacidade, a menor população fibrosa da bracatinga acaba por prejudicar essa importante propriedade para papéis de impressão e escrita. Entretanto, essa perda de opacidade não é significativa até a mistura de 20% de bracatinga.

TABELA 26 – Opacidade e alvura das polpas com e sem refino.

		Opacidade (%)		Alvura (% IS0)
		Sem refino	Refino 30ºSR	Refino 30ºSR
100% eucalipto		80,0	73,9	88,1
5% bracatinga		80,2	73,9	87,7
10% bracatinga		79,8	73,2	87,3
20% bracatinga		80,1	73,6	87,2
100% bracatinga		77,5	70,8	85,8
ANOVA	F	43,196	29,173	9,808
	Sig	S	S	S

TABELA 27 - Teste de Tukey para opacidade e alvura.

	Opacidade		Alvura
	Sem refino	Refino 30ºSR	Refino 30ºSR
100% eucalipto	a	a	a
5% bracatinga	a	a	a
10 % bracatinga	a	a	a
20% bracatinga	a	a	a
100% bracatinga	b	b	b

5 CONCLUSÕES

Como conclusão geral do trabalho, pode-se afirmar que a madeira de bracatinga tem condições de ser utilizada como fonte de madeira em misturas com eucalipto na fabricação de celulose, contribuindo com sua maior densidade básica e fibras de paredes mais espessas a agregar um diferencial na qualidade nas polpas produzidas, dependendo da proporção que vier a ser utilizada na mistura. Para pequenas adições de madeira de bracatinga, até 10% do peso dos cavacos, não se notam diferenças significativas na polpação e na qualidade da polpa da mistura em relação à polpa de eucalipto puro. Quando se aumentar a proporção de madeira de bracatinga, pode-se esperar alguns prejuízos nas resistências físico-mecânicas e na alvura e opacidade, mas ganha-se em porosidade, absorção de água e volume específico aparente. Por essa razão, as fibras de bracatinga parecem ser mais compatíveis com a fabricação de polpas para papéis sanitários e higiênicos, e menos recomendadas para papéis de impressão e escrita, frente às suas características anatômicas e de desempenho nos testes de refinação.

As análises dendrométricas demonstraram que as árvores de espécies de bracatinga (*Mimosa scabrella* var. *scabrella*) tiveram incremento volumétrico inferior, porém apresentaram madeiras mais densas em comparação ao eucalipto(*Eucalyptus saligna*) de povoamentos de maior idade.

Apesar das árvores de eucalipto serem mais velhas, os seus volumes e os pesos absolutamente seco são muito maiores que os

valores das árvores de bracatinga. O percentual de casca na árvore de bracatinga mostrou-se maior que para o eucalipto.

Existe hoje pouca chance da bracatinga competir em termos de produtividade florestal com o eucalipto. Entretanto, ela pode ser uma interessante fonte de fibras complementar, principalmente de origem de pequenas e médias propriedades rurais, e assim, ajudar a diversificar e aproveitar outras fontes de matéria-prima viáveis na produção de celulose e papel. Há ainda oportunidades para ganhar em produtividade florestal através de melhoramento genético da espécie.

Em termos de composição química da madeira, o teor de lignina e extrativos foram semelhantes nas duas madeiras, enquanto o eucalipto apresentou maior teor de cinzas.

Anatomicamente, as fibras das duas espécies mostraram pouca diferença no comprimento, porém a bracatinga possuía fibras mais largas com maiores diâmetros de lúmen e paredes mais espessas. As suas fibras foram mais pesadas, possuindo menor população fibrosa por grama seca de polpa e maior "*coarseness*". Foi encontrado menor número de vasos na polpa de eucalipto, porém esses vasos apresentaram maiores dimensões.

As fibras da polpa de bracatinga mostraram também menor valor de retenção de água do que as de eucalipto, o que favorece a drenagem na formação do papel.

A madeira de bracatinga exigiu condições mais severas de cozimento, aumentando-se o álcali ativo para ter-se um grau de deslignificação semelhante aos demais tratamentos após o cozimento. Com essa drastificação requerida no cozimento, degradaram-se mais as fibras da polpa de bracatinga, contribuindo em parte para o

decréscimo de qualidade e resistência da polpa de bracatinga pura. Pela maior densidade básica e rendimento maior na conversão a celulose, oferece a vantagem de menor consumo de volume de madeira por tonelada de celulose, o que pode ser útil em fábricas que estejam com gargalos de produção devido a alimentação de madeira.

Na deslignificação com oxigênio, notaram-se resultados aceitáveis na alvura e no número kappa, com pouca agressão às fibras. Os tratamentos comportaram-se normalmente, sem grandes discrepâncias.

No branqueamento, a alvura foi influenciada a partir da mistura de 20% de bracatinga e decaindo substancialmente na polpa pura de bracatinga. Igual comportamento ocorreu na reversão da alvura. O teor de hemiceluloses medido pelo S_5 foi mais acentuado na polpa de 100% bracatinga.

Todas as polpas branqueadas gastaram a mesma energia para serem refinadas. O grau de drenabilidade expresso pelo grau Schopper Riegler das polpas sem refino diferenciou-se apenas na celulose de bracatinga pura, que mostrou-se mais baixo em função da menor população fibrosa e mais fácil drenagem.

Com relação ao desempenho das celulose nos testes físico-mecânicos, o acréscimo da proporção de bracatinga pode promover uma perda da resistência à tração, ao rasgo, ao estouro e à elongação. Entretanto, até 10% de mistura, não se notaram diferenças estatísticas importantes.

Nas propriedades óticas, o maior uso de bracatinga prejudicava a opacidade e a alvura da folha, mas também não se notaram prejuízos pelo uso de até 10% de madeira de bracatinga na mistura de cavacos.

A grande vantagem da bracatinga fez-se notar nos ensaios de volume específico aparente, porosidade e ascensão capilar. Apesar da adição de baixas quantidades de bracatinga não representarem ganhos apreciáveis nessas propriedades, as polpas 100% de bracatinga eram muito superiores.

6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista os resultados promissores, recomenda-se que sejam efetuados estudos de otimização das condições de cozimento da madeira e de branqueamento da celulose de *Mimosa scabrella*, pois o presente estudo partiu de condições similares às usadas para madeiras de eucaliptos, sem se ater em determinar as condições ideais de processamento desse material lenhoso da bracatinga.

Isso com certeza fez com que todo potencial da bracatinga não fosse perfeitamente avaliado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, C.; AGOTI, C.; MANTAU, L.K.M. *et alii.* Contribuição para aproveitamento da bracatinga mimosa na indústria papeleira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**,** 1., 1968, Curitiba, **Anais...** Curitiba: FIEP, 1968. p. 57-63.

BARRICHELO, L.E.G. Celulose sulfato de bracatinga. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1., 1968, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FIEP, 1968. p. 43-46.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Celulose sulfato branqueada de bracatinga. **Brasil Florestal**, v.12, n.49, p.45-50, 1982.

BARRICHELO, L. E. G. & FOELKEL, C.E.B. Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa bracatinga*), embaúba (*Cecropia* sp), caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*). **IPEF**, n.10, p. 43-53, ago. 1975.

BITTENCOURT, S.M. & AMEND, G.V. Sistema agroflorestal da bracatinga, uma intervenção da equipe multidisciplinar de extensão rural. In: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL, 1., 1994, Colombo. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 181-190.

CARPANEZZI, O.T.B. **Produtividade florestal e agrícola em sistemas de cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba - Paraná.** 1994, 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1994.

CARPANEZZI, A.A. & CARPANEZZI, O.T.B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) no Brasil e prioridade para seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. p. 640-655. v.2

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPF; Brasília: EMBRAPA-SPI,1994. p.337-343.

CARVALHO, P.E.R. & COSTA, J.M. Comportamento de essências florestais em condições de arboreto em quatro locais de estado de Paraná: ”Bracatinga, uma alternativa para reflorestamento” In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 161-170.

CATIE, Turrialba. ***Mimosa scabrella***: **Leguminosa promissora para zonas altas.** Costa Rica, 1985.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa Florestal. **Manual técnico da bracatinga** (*Mimosa scabrella* Benth.). Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1988. 70 p.

FLORES, D.M.M. **Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith.** 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica** IPEF, v.47, p.1-30, 1979

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria floresta.** Santa Maria : UFSM/CEPEF- FATEC, 1992. 269 p.

FOELKEL, C.E.B., SANI, A. **Presente, passado e perspectivas futuras na utilização do eucalipto pela indústria de celulose no Brasil.** Belo Oriente: Celulose Nipo-Brasileira, 1977. 55 p.

GONZÁLEZ, E.R. *et alii.* Transformação genética do eucalipto. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento,** v.5, n.26**, p. 18-22, maio/junho, 2002.**

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Cellulose in dilute solutions**: determination of limiting viscosity

number. Part 1: method in cupriethylene-diamine (CED) solution. Genève, 1981. 11 p. (ISO 5351-1: 1981)

_____**. Paper:** determination of tearing resistance. Genève, 1990. 8p. (ISO 1974:1990)

_____. Paper and board: measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness). Genève, 1977. 4 p. (ISO 2470:1977).

_____. Paper and board: determination of grammage. Genève, 1995. 4 p. (ISO 536:1995).

_____. Paper and board: determination of opacity (paper backing) .diffuse reflectance method. Genève, 1998. 7 p. (ISO 2471:1998).

_____**.Paper and board**: determination of tensile properties. Part 1: constant rate of loading method. Genève, 1992. 5p. (ISSO 1924-1 :1992).

_____**.Paper and board**: determination of tensile properties. Part 2: constant rate of loading method. Genève, 1994. 8p. (ISSO 1924-2 :1994).

_____. Pulps: determination of alkali solubility. Genève, 1981. 4 p. (ISO 692:1982).

_____. Pulps: determination of dichlormethane soluble matter. Genève, 1974. 2 p. (ISO 624:1974).

_____. Pulps: determination of drainability. Part 1 Schopper-Riegler method. Genève, 1999. 7 p. (ISO 5267-1:1999).

_____. Pulps: determination of kappa number. Genève, 1981. 4 p. (ISO 302:1982).

_____. Pulps: laboratory beating.Part 2: PFI mill method Genève, 1979. 10 p. (ISO 5264-2:1979).

JERÔNIMO, L.H. **Adição de antraquinona na polpação alcalina e sua influência na branqueabilidade de celulose de** *Eucalyptus saligna* **Smith.** 1997. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

KLABIN RIOCELL. **Ascensão capilar Klemm.** Guaiba, 1997. 9p. (DT 80220-07-172-3).

_____. Avaliação de fibras com Kajaani F 100. Guaiba, 1998. 8p. (DT–3013–167–07–3).

_____. Deslignificação de polpa marrom com oxigênio. Guaiba, 1998. 15p. (DT–3013–062–07–3).

_____. Microscopia ótica com projeção e uso de ocular micrométrica reticulada. Guaiba, 1997. 12p. (DT–8040–016–07–1).

_____. Water retention value. Guaiba, 1997. 6p. (DT–8040–019–07–3).

KUAN, G.S.S., BENAZZI, R.C.; BERGMAN, S. Matérias-primas. In: D'ALMEIDA, M.L.O. (Coord.), **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação do papel São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo , 1982 , p. 1-22. v.2

LAURENT, J.M.E.; PEDREIRA, M.R.R.; CARPANEZZI, O.T.B; *et alii.* **Melhoramento do sistema agroflorestal da bracatinga**. Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA (Convênio BRASIL/Paraná-FRANÇA-FAO), 1990. 128 p. il. (Field Document ; n. 8)

LIMA, A.F.; OLIVEIRA, G.; FRANCO, L.C. *et al.* **Avaliação do *Eucalyptus dunnii* como matéria-prima alternativa para a RIOCELL.** Guaíba : RIOCELL, 1993. 13p. (Relatório Técnico, 596).

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa : Plantarum, 1992. 352 p., p. 128.

MANGIERI, H.R., DIMITRI, M.J. **Los eucaliptos en la silvicultura.** Buenos Aires : Acme. 1971. 226 p.

MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das angiospermas:** leguminosas. Santa Maria : Ed. UFSM, 1997. 200 p.

MAZUCHOWSKI, J.Z. **Exploração da bracatinga.** Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA (Convênio BRASIL/Paraná-FRANÇA-FAO), 1989. 25 p.

MEZZOMO, L.X. **Potencialidade de** *Eucalyptus cloesiana S. Muell, E. citriodora Hook, E urophylla St Blake e E.urophylla* x *E. grandis*, **cultivados na Bahia, para a produção de celulose solúvel.** 1996. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

NIANG, A.; STYGER, E.; GAHAMANUYI, A. *et alii*. *Mimosa scabrella* : a tree for high places**. Agroforesty Today**, v. 6, n.2, p.7, abr./jun. 1994.

PETRIK, A.W.; BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V. *et alii.* Produção de celulose kraft a partir de misturas de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii.* In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 17, 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1984 p.297-324.

PINHO, M.R.R. & CAHEN, R. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M.L.O. (Coord.), **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta

celulósica , São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981. p. 165-315. v.1.

REITZ, R. ; KLEIN, R. M. ; REIS, A . **Projeto madeira do Rio Grande do Sul:** Sellowia. Porto Alegre: SUDESUL, 1983. P. 34-35 . 525p.

ROTTA, E. & OLIVEIRA, Y.M.M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERPECTIVAS FLORESTAIS ”Bracatinga, uma alternativa para reflorestamento”, 4., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. P. 1-23.

SCHULTZ, A. **Introdução à botânica sistemática.** Porto Alegre : Ed. da UFRGS, 1990. 414 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp.** Atlanta, 1998. 2p. (T222 om-98).

_____. Air resistance of paper. Atlanta, 1994. 3 p. (T 460 om-88).

_____. Analysis of soda and sulfate black liquor. Atlanta, 1994. 4 p. (T 625 om-85).

_____. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta, 1993. 3p. (T211 om-93)

_____. Bursting strength of paper. Atlanta, 1994. 4 p. (T 403 om-91).

_____. Forming handsheet for physical tests of pulp. Atlanta, 1994. 3 p. (T 205 om-88).

_____. Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997. 4 p. (T 204 cm-97).

_____. Thickness (caliper) of paper, paperboard and combined board. Atlanta, 1994. 3 p. (T 411 om-89).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Estudos das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná.** Sub-programa Tecnologia. Curitiba : "Convênio 28\76: SUDESUL, IBDF, Governo/PR", 1979. 327p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses – MDT**. 5. Ed. Santa Maria : PRPGP/UFSM, 2000.

VITAL, B. R. ; ALMEIDA, J.; VALENTE, F. *et al*. Características de crescimento das árvores e da qualidade da madeira de

Eucalyptus camaldulensis para a produção de carvão. **IPEF**, v. 47, 1994, p. 22-28.

VOLKART, C.M.; FRIEDL, R.A.; O'LERY, H.J. *et alii*. **La especie leñera "Bracatinga" (*Mimosa scabrella* Bentham) y su comportamento en la provincia de Misiones.** Eldorado: AER INTA, [s.d.].