

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*,
Acacia mangium, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e
*Populus tremuloides***

Fernanda Schablatura Antunes

Dissertação apresentada para a obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2009**

Fernanda Schablatura Antunes
Química

Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides*

Orientador:
Prof. Dr. **FRANCIDES GOMES DA SILVA JUNIOR**

Dissertação apresentada para a obtenção do
título de Mestre em Recursos Florestais com
opção em Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Antunes, Fernanda Schablatura

Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*,
Eucalyptus nitens, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides* / Fernanda Schablatura
Antunes. - - Piracicaba, 2009.

82 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Acácia 2. Álamo 3. Árvores florestais 4. Eucalipto 5. Madeira - Qualidade 6. Polpa de
madeira 7. Tecnologia da madeira 8. Tecnologia de celulose e papel I. Título

CDD 676.126
A636a

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

À Deus pela minha existência e por tornar tudo isso possível.

A meu marido Sandro, parceiro em todos os momentos difíceis dessa caminhada e pelo amor, carinho, incentivo e compreensão.

Ao meu filho Rodrigo por todos os momentos de minha ausência.

Aos meus pais, Osvaldo e Rosa pelo apoio e amor dedicado.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura” Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, pela oportunidade do mestrado.

Ao professor Francides Gomes da Silva Júnior pela a orientação, pelos conselhos e pela amizade no decorrer desse trabalho.

Ao professor Mario Tomazello pelo auxílio no desenvolvimento desse trabalho.

A Fabiana Gomes pela colaboração do desenvolvimento desse trabalho, e pela grande amizade que construímos.

Aos amigos do Laboratório de Química, Celulose e Energia, Franscimara, Gláucia, Camila, Regina, Glauco, Marileide, Miguel e Lívia.

A minha grande amiga Danyella Perissotto pelos ensinamentos e apoio para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Laboratório de Anatomia da Madeira e sua equipe, Carlos, Maria, Mateus e Angel, pela colaboração no desenvolvimento desse trabalho.

A equipe da biblioteca do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, pela atenção, amizade.

A empresa CPMC Celulosa, que cedeu a matéria-primas de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*.

Ao Pulp and Paper Institute of Canadá - PAPRICAN, que cedeu a matéria-prima de *Populus tremuloides*.

A empresa Asia Pulp and Paper, que cedeu as matérias-primas de *Acacia crassicarpa* e *Acacia mangium*.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 DESENVOLVIMENTO.....	19
2.1 Revisão Bibliográfica.....	19
2.1.1 Qualidade da madeira.....	19
2.1.2 <i>Populus tremuloides</i>	24
2.1.3 <i>Acacia mangium</i>	25
2.1.4 <i>Acacia crassicarpa</i>	26
2.1.5 <i>Eucalyptus nitens</i>	27
2.1.6 <i>Eucalyptus globulus</i>	28
2.2 Material e Métodos.....	30
2.2.1 Material.....	30
2.2.1.1 Amostragem.....	30
2.2.2 Métodos.....	32
2.2.2.1 Caracterização da madeira.....	32
2.2.2.1.1 Densidade Básica da Madeira.....	32
2.2.2.1.2 Composição Química.....	33
2.2.2.1.3 Caracterização morfológica das fibras.....	33
2.2.2.4 Delineamento experimental e análise estatística.....	34
2.3 Resultados e Discussões.....	35
2.3.1 Densidade básica da madeira.....	35
2.3.2 Composição química da madeira.....	47
2.3.3 Dimensões das fibras.....	53
3 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS.....	63

APÊNDICES..... 71

RESUMO

Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides*

As madeiras utilizadas para produção de polpa celulósica podem ser divididas em dois grupos em função da fibra: folhosas (fibra curta) e coníferas (fibra longas), as espécies de folhosas são destinadas especialmente a papéis de escrita e impressão. As principais espécies de folhosas utilizadas para produção de polpa de fibra curta em outros países são o *Eucalyptus globulus* (Península Ibérica e Chile), *Eucalyptus nitens* (Chile), *Populus tremuloides* (Canadá), *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa* (Indonésia). Este projeto tem por objetivo: avaliar e comparar o desempenho de madeiras utilizadas mundialmente para produção de polpa celulósica de fibra curta considerando parâmetros de qualidade da madeira tais como composição química, densidade básica, características anatômicas da madeira; com objetivo de fornecer informações estratégicas para o setor nacional de celulose e papel, visando o conhecimento e posicionamento em competitividade destas madeiras no mercado mundial. Para a realização deste trabalho foram coletadas 5 árvores de cada espécie as quais foram utilizados cavacos cortados manualmente obtidos de discos; com relação à madeira foram determinadas densidade básica, composição química e dimensões de fibras. Os resultados foram analisados estatisticamente sendo comparadas as diferentes espécies referentes à qualidade da madeira.

Palavras chaves: Matérias-primas; *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, *Populus tremuloides*; *Acacia mangium*; *Acacia crassicarpa*; Qualidade da madeira

ABSTRACT

Evaluation of the wood quality of species *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* and *Populus tremuloides*

Wood used for pulp production may be divided in two major groups regarding fiber function: hardwood (short fiber) and softwood (long fibers). Hardwood species are mainly designated to writing and printing papers. Hardwood principal species used for production of short fiber pulp in other countries are *Eucalyptus globulus* (Iberian Peninsula and Chile), *Eucalyptus nitens* (Chile), *Populus tremuloides* (Canada), *Acacia mangium* and *Acacia crassicarpa* (Indonesia). This study aimed to evaluate and compare the performance of the main woods used worldwide for short fiber pulp production regarding wood quality parameters such as chemical composition, basic density and wood anatomical properties, in order to provide strategic information for national pulp and paper industry, aiming the knowledge and competitiveness of these woods at worldwide market. To accomplish this study, 5 trees from each species were collected and wood chips were manually cut. In relation to the wood, basic density, chemical composition and fiber lengths were determined. The results were statistically analyzed and the different species were compared regarding wood quality.

Keywords: *Eucalyptus nitens*; *Eucalyptus globulus*; *Populus tremuloides*; *Acacia mangium*; *Acacia crassicarpa*; Wood of quality

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos países onde foram coletadas as amostras das madeiras utilizadas nesse trabalho; 1) Chile, 2) Canadá, 3) Indonésia...	30
Figura 2 - Amostragem de discos por árvore.....	31
Figura 3 - Índice de heterogeneidade para densidade básica.....	46
Figura 4 - Porcentagem de extrativos totais.....	49
Figura 5 - Porcentagem de lignina total.....	49
Figura 6 - Teor de holocelulose.....	52
Figura 7 - Variação do comprimento das fibras.....	57
Figura 8 - Variação da largura das fibras.....	59
Figura 9 - Variação da espessura das fibras.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados de densidade básica da madeira.....	21
Tabela 2 -	Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie <i>Populus tremuloides</i>	36
Tabela 3 -	Análise de variância para densidade básica da madeira de <i>Populus tremuloides</i> em função da altura.....	37
Tabela 4 -	Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie <i>Acacia mangium</i>	38
Tabela 5 -	Análise de variância para densidade básica da madeira de <i>Acacia mangium</i> em função da altura.....	39
Tabela 6 -	Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie <i>Acacia crassicarpa</i>	39
Tabela 7 -	Análise de variância para densidade básica da madeira de <i>Acacia crassicarpa</i> em função da altura.....	40
Tabela 8 -	Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie <i>Eucalyptus nitens</i>	41
Tabela 9 -	Análise de variância para densidade básica da madeira de <i>Eucalyptus nitens</i> em função da altura.....	42
Tabela 10 -	Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie <i>Eucalyptus globulus</i>	42
Tabela 11 -	Análise de variância para densidade básica da madeira de <i>Eucalyptus globulus</i> em função da altura.....	43
Tabela 12 -	Análise de variância entre as espécies de estudo deste trabalho.....	44
Tabela 13 -	Teste de tukey para densidade básica.....	44
Tabela 14 -	Análise de variância do Índice de heterogeneidade para densidade básica da madeira.....	45
Tabela 15 -	Teste de tukey para Índice de heterogeneidade.....	45
Tabela 16 -	Composição química.....	47
Tabela 17 -	Teste de tukey para o teor de extrativos totais.....	48
Tabela 18 -	Teste de tukey para o teor de lignina total.....	48

Tabela 19 - Teste de Tukey para teor de holocelulose.....	52
Tabela 20 - Dimensões das fibras.....	54
Tabela 21 - Teste de Tukey - Comprimento das fibras.....	54
Tabela 22 - Teste de Tukey - Largura das fibras.....	55
Tabela 23 - Teste de Tukey - Diâmetro do lumen.....	55
Tabela 24 - Teste de Tukey – Espessura da fibra.....	55
Tabela 25 - Teste de Tukey – Fração parede.....	56
Tabela 26 - Teste de Tukey – Coeficiente de flexibilidade.....	56
Tabela 27 - Teste de Tukey – Índice de runkel.....	56

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente as matérias-primas utilizadas para produção de polpa celulósica diferem entre si no que diz respeito à espécie, idade, tipo de florestas (plantada e nativa), bem como as características químicas, físicas e anatômicas da madeira.

No cenário mundial, o Brasil é o maior produtor de polpa celulósica de eucalipto onde se destacam os híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* como principais materiais genéticos.

Além das espécies do gênero *Eucalyptus*, madeiras folhosas de outros gêneros e espécies são utilizadas em outros países como fonte de matéria-prima para produção de polpa celulósica de fibra curta como espécies do gênero *Populus*, *Betula* e *Acacia*. Entre as espécies dos gêneros citados, as de *Acacia* tem se destacado como importante fonte de fibras curtas para indústria de papel; neste particular, a Indonésia é o principal país produtor de polpa de fibra curta a partir de *Acacia*, tendo esta polpa boa aceitação no mercado mundial.

As espécies do gênero *Acacia* se revelam de grande interesse para o setor celulose e papel nacional uma vez que as condições edafo-climáticas brasileiras favorecem o bom crescimento de espécies deste gênero.

Já na Península Ibérica e no Chile destaca-se o *Eucalyptus globulus*; estudos técnico-mercadológicos mostram que a polpa de *Eucalyptus globulus* apresenta características distintas das demais polpas de eucalipto, sendo em alguns casos considerada como um produto diferenciado. A madeira de *Eucalyptus globulus* apresenta menor teor de lignina quando comparada às madeiras de eucalipto utilizadas no Brasil, facilitando a deslignificação no processo de polpação.

Na América do Norte a madeira de *Populus* sp é uma importante fonte de matéria-prima para a produção de polpa de fibra curta sendo que a madeira desta espécie apresenta boa densidade, com qualidades tecnológicas desejáveis para o mercado papeleiro.

A crescente demanda por diferentes tipos de polpa celulósica, visando maior qualidade com menor custo, vem estimulando a pesquisa na busca de matérias-primas diferenciadas. Nesse contexto, estudos estão sendo realizados com variadas espécies

de folhosas utilizadas em diferentes países. Considerando-se os aspectos mencionados, os objetivos deste trabalho são:

- i. Avaliar e comparar a qualidade da madeiras das principais espécies utilizadas mundialmente para produção de polpa celulósica de fibra curta;
- ii. Fornecer informações estratégicas para o setor celulósico nacional com relação a possíveis ameaças e oportunidades apresentadas por materiais não utilizados no Brasil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Qualidade da madeira

A qualidade da madeira, segundo Ruy (1998) está associada ao tipo de uso e ao processo empregado para sua transformação em produto industrializado. Quanto mais homogênea for a matéria-prima, mais rápida e economicamente será atingida a otimização do processo industrial.

Segundo Souza, Carpim e Barrichello (1986) há uma grande preocupação entre a maioria dos pesquisadores florestais quanto às variações na qualidade da madeira mostradas pelas diferentes espécies. Estas variações ocorrem quando se consideram os diferentes tipos de solos, idades, sistemas de implantação e condução da floresta, ritmos de crescimento e procedências.

Qualidade da madeira pode ser definida como a combinação de características físicas, químicas, anatômicas e estruturais da árvore ou de suas partes que levam a um máximo de aproveitamento e uma melhor utilização para determinado fim.

A qualidade da madeira pode ser analisada sob vários aspectos, existindo, igualmente, vários parâmetros para caracterizá-la (TRUGILHO; LIMA, 2005). Uns desses parâmetros é a densidade básica, definida como uma medida da massa de madeira seca por unidade de volume saturado. A densidade básica é um dos mais importantes fatores a serem considerados dentre as diversas propriedades físicas da madeira e isto se deve ao fato dessa propriedade ser complexa e resultante da combinação de diversos fatores (RUY, 1998).

A densidade básica é uma propriedade física da madeira definida como a relação entre o peso absolutamente seco de madeira e o seu volume saturado, sendo a mesma de fundamental importância para o processo de polpação, tendo em vista os aspectos econômicos relacionados a consumo específico de madeira, influencia nas variáveis do processo de polpação e nas características da polpa celulósica (SILVA, 2005).

Outros aspectos de qualidade da madeira como as dimensões de fibras, frequência de vasos, parênquima e teor de extrativos da madeira também se relacionam com a densidade básica.

Segundo Busnardo e Foelkel (1978), a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação de rendimento do processo industrial de transformação empregado, como também indica o comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica.

Foelkel, Mora e Menochelli (1992) define que os limites para densidade básica para o gênero *Eucalyptus* pode variar de 0,300 a 0,800 g/cm³, no entanto o aconselhável para a produção de polpa celulósica varia entre 0,450 a 0,650 g/cm³. Madeiras menos densa levam a redução do rendimento volumétrico de celulose, enquanto madeiras mais densa apresentam dificuldades de picagem e impregnação dos cavacos, consumindo altas quantidades de reagentes e levando a baixos rendimentos gravimétricos e elevados teores de rejeitos.

Na caracterização da madeira, a determinação da densidade e principalmente de sua variação na árvore, tanto na direção radial, quanto no sentido longitudinal, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade.

A densidade básica da madeira varia ao longo do fuste, de acordo com Panshin e De Zeeuw (1980) pelo decréscimo uniforme da densidade com o aumento da altura do fuste, decréscimo na parte inferior do tronco, seguido de acréscimo regular nos níveis superiores do tronco, variação da densidade positiva em direção ao topo da árvore, porém não uniforme.

Segundo Barrichello, Brito e Couto (1983), para o gênero *Eucalyptus* a densidade básica da madeira é decrescente até a região do DAP (distância a 1,3m da altura do peito) e crescente a partir deste ponto, podendo ou não decrescer próximo ao topo.

O consumo específico de madeira por tonelada de celulose e encontra-se intimamente associado com determinadas propriedades de resistências físico-mecânicas da polpa resultante. Silva, Muner e Valle (1995) descrevem que a madeira de maior densidade apresenta fibras mais espessas, menor valor de tecido parenquimático e menor frequência de vasos, os quais podem estar obstruídos por tilos e dificultar a penetração de licor de cozimento nos cavacos.

Para a indústria de celulose e papel, a avaliação adequada da densidade básica fornece indicações sobre o processo de impregnação dos cavacos e o rendimento em celulose por um determinado grau de deslignificação.

As diferentes espécies de folhosas apresentam densidades básicas distintas, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 1 - Dados de densidade básica da madeira

Autores	<i>Acacia crassicaarpa</i> (g/cm ³)	<i>Acacia mangium</i> (g/cm ³)	<i>Populus tremuloides</i> (g/cm ³)	<i>Eucalyptus nitens</i> (g/cm ³)	<i>Eucalyptus globulus</i> (g/cm ³)
Clark, 1991	0,638	0,420	-	-	-
Duarte, 2007	-	-	-	-	0,630
Francis et al. 2006	-	-	0,350	-	-
Igartua, 2005	-	-	-	-	0,488
Kibblewhite, 2000	-	-	-	0,448	0,543
Mariani et al. 2005	-	-	-	0,478	-
Mckinley, 2002	-	-	-	0,482	0,545
Morkfienski et al. 2003	-	-	-	0,484	-
Monteoliva, 2002	-	-	-	0,549	-
Peredo, 2002	-	-	-	0,465	0,519
Silva, 2005	-	-	0,377	-	-
Suleman, 2007	-	-	0,390	-	-
Vale, 1999	-	0,52	-	-	-

A composição química da madeira afeta a sua qualidade e a de seus derivados (GOMES, 2002). Entretanto, sabe-se que, quanto menor o teor de lignina melhora a branqueabilidade da celulose e menor o consumo de produtos químicos durante o processo de polpação e o branqueamento. Alencar (2002) descreve que a composição química assume grande importância frente ao rendimento em polpa celulósica. A lignina e os extrativos, por exemplo, influenciam diretamente no consumo de álcali, rendimento da deslignificação e no potencial de produção industrial. Tal fato implica em uma maior degradação dos carboidratos e dissolução dos polissacarídeos de baixo peso molecular, causando redução no rendimento, queda de viscosidade e resistência física da polpa celulósica, além de gerar também, maior quantidade de sólidos para queima em caldeira de recuperação.

Para a produção de polpa celulósica há uma forte influência da matéria-prima utilizada, dentre outros aspectos, através da carga alcalina utilizada, com efeitos diretos no rendimento gravimétrico depurado. Cargas alcalinas efetivas mais elevadas, mantidas as demais condições, contribuem para o aumento da velocidade das reações com os constituintes químicos da madeira, alguns dessas indesejáveis. (ALMEIDA; SILVA, 2001).

Almeida e Silva (2001) destacam que o teor de holocelulose está relacionado com o rendimento do processo de polpação, e as hemiceluloses facilitam o refino da polpa celulósica, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento das propriedades de resistência físico-mecânica da polpa.

Segundo Foelkel, Zvinakevicius e Andrade (1978), o teor de lignina bem como o teor de extrativos da madeira tende a aumentar em madeiras mais velhas. Almeida e Silva (2001) consideram o teor de extrativos um parâmetro importante na seleção de madeira para a produção de polpa.

As polpas celulósicas de diferentes espécies de folhosas apresentam elevada variabilidade de composição e estrutura conforme salientado, afetando significativamente o seu comportamento durante o processo de polpação. Espécies de folhosas distintas requerem diferentes condições de operação no processo de polpação e branqueamento, para atingirem o mesmo grau de deslignificação (expresso na forma de número kappa e alvura respectivamente). Adicionalmente, a compreensão das características química das madeiras, torna-se crucial para possíveis otimizações nos processos de polpação e branqueamento, melhoria na qualidade do produto final e redução do impacto ambiental causado pelas indústrias de polpa celulósica e papel (DUARTE, 2007).

As características anatômicas constituem-se em um índice de qualidade, além da composição química e as características físicas da madeira, compondo os fatores que estão relacionados às propriedades da madeira.

Barrichello e Brito (1976) descrevem que as fibras, os elementos de vasos e os parênquimas são células presentes em madeiras de folhosas, as quais funcionam como tecido de suporte, armazenamento e auxiliam também o transporte de água e de nutrientes no tecido vegetal. Os elementos de vasos também favorecem a penetração

no licor de cozimento no interior dos cavacos durante o processo de polpação. Segundo os autores, variações na densidade básica da madeira estão, geralmente, relacionadas com as alterações nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira.

Olivetti Neto (2002) salienta que as características anatômicas da madeira, tais como comprimento da fibra, espessura da parede, diâmetro do lume, proporção dos vários tipos de células e tecidos, como vasos e parênquimas, possuem relação com a densidade básica.

O diâmetro das fibras, do lume e a espessura da parede conferem características importantes para a fabricação do papel, pois estão relacionadas à capacidade de colapsamento das fibras, sendo mais fácil ocorrer em fibras delgadas quando submetidas a prensagem. Fibras com paredes delgadas e maiores diâmetros são características de madeira de menor densidade. São, portanto mais suscetíveis ao colapso, favorecendo as ligações entre fibras e apresentando maior facilidade de refino na fabricação de papel.

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

Amidon (1981) menciona que o comprimento de fibra e a espessura de parede são os parâmetros mais importantes da fibra, os quais exercem influencia sobre o coeficiente de flexibilidade, sobre a fração parede e sobre o índice de Runkel, sendo o ultimo parâmetro expresso por 2 vezes a relação espessura de parede/diâmetro do lumem da fibra.

Segundo Foelkel, Zvinakevicius e Andrade (1978), índices de Runkel superiores a 1,5 ou frações paredes maiores que 60% são desaconselháveis para a fabricação de papel, embora a resistência ao rasgo seja favorecida.

Kibblewhite, Johnson e Shelbourne (2000) realizaram um estudo com *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus maidenii* com 8 e 11 anos e entre elas o resultado para *E. globulus* do comprimento da fibra foi de 0,85 μm e para *Eucalyptus nitens* de 0,88 μm para 11 anos de idade. Tomazello Filho (1983) realizou um estudo com 8 espécies de eucaliptos e entre elas o resultado do comprimento da fibra para *E. globulus* foi de 0,81 mm e para *Eucalyptus grandis* de 1,03 mm.

De acordo com Barrichelo e Brito (1976), a espessura da parede das fibras, apresentada pelas espécies de eucalipto, se encontram na faixa de 2,5 a 6,0 μm ; para largura geralmente observam-se valores entre 12 a 20 μm .

Segundo Carpim, Barrichello e Silva Junior (1987), fibras com espessura de parede maior proporcionam maior volume específico e maior resistência à passagem de luz através da folha do papel (opacidade). Os autores descrevem também que a densidade básica da madeira exerce pouca influência sobre o comprimento.

Duarte (2007) descreve que os papéis fabricados com fibras de menor diâmetro e maior espessura de paredes, em geral levam a melhores resultados de resistência ao rasgo e uma maior opacidade.

2.1.2 *Populus tremuloides*

O gênero *Populus*, popularmente chamado de Álamo ou Choupo, pertence a família Salicaceae, é originário de regiões de clima temperado e frio do Hemisfério Norte, podendo ser encontrado na Europa, África do Norte, Oriente Médio, Ásia temperada, Índia, Paquistão, Sri Lanka, e América do Norte onde são amplamente cultivados, constituindo-se como uma das principais espécies econômicas das florestas boreais, mas que se encontra em regiões mais temperadas, muitas vezes ao longo de rios ou em zonas pantanosas (MACHADO, 2006).

A espécie *Populus tremuloides* é nativa do leste da América do Norte e desde 1890 vem sendo utilizada nos Estados Unidos, trata-se de uma espécie de rápido crescimento, com altura variando entre 15 a 30 metros de comprimento com copas arredondadas e raízes laterais extensivas que podem atingir até 30 metros de comprimento e 5 metros de profundidade (MACHADO, 2006).

Segundo previsões da FAO (2004), existe cerca de 70 milhões de hectares de *Populus sp* no hemisfério Norte, os quais crescem em forma de bosques naturais, florestas plantadas, incluindo sistemas agro-florestais e árvores ornamentais. A Federação Russa, Canadá e Ucrânia têm as maiores áreas de *Populus sp* nativos, porém, China, Índia e Paquistão possuem as maiores áreas plantadas.

Segundo Balatinecz e Kretschmann (2001), além do crescimento rápido, o *Populus tremuloides* pode ser facilmente clonado. Assim, características hereditárias podem ser melhoradas mais rapidamente que em espécies não passíveis de clonagem. *Populus tremuloides* híbridos são especificamente desenvolvidos para aumentar a resistência a doenças e insetos, bem como para aumentar volume de produção em condições especiais.

Segundo Balatinecz e Kretschmann (2001), o *Populus tremuloides* apresenta uma composição química caracterizada pela alta proporção de polissacarídeos (aproximadamente 80% de holocelulose, sendo 50% de celulose e 30% de hemicelulose) e baixa proporção de lignina (20% ou menos).

Algumas características anatómicas e físicas da madeira de *Populus tremuloides* são:

- limites de anéis de crescimento distintos;
- cor do cerne amarelo a branco ou cinzento;
- cor do alburno similar a cor do cerne;
- densidade básica de 0,360 a 0,560 g/cm³;
- elementos de vaso agrupados, geralmente em grupos radiais curtos (de 2–3 vasos); diâmetro tangencial dos vasos de 40 a 95µm; freqüência de vasos de 25 a 70 vasos/mm²; placas de perfuração simples; tilos nos vasos presentes (pouco frequentes), de paredes finas;
- fibras de paredes finas, comprimento médio de 1,1mm.

2.1.3 *Acacia mangium*

O gênero *Acacia*, com aproximadamente 2.000.000 ha plantados em todo o mundo, apresenta uma relevante importância do ponto de vista social e industrial no reflorestamento. As espécies de maior utilização são *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis* sendo suas produções direcionadas para polpa celulósica, madeira para movelaria e construção, matéria-prima para compensados, combustível, controle de erosão, quebra-vento e sombreamento.

A espécie *Acacia mangium* ocorre naturalmente na região costeira da Austrália,

na Indonésia, nas ilhas Molucas e Java e na província de Papua Nova Guiné, entre latitudes de 1° a 18°S e altitudes que vão desde o nível do mar até 800m (LELLES; SILVA; SILVA, 1996).

A *Acacia Mangium* é imprópria para plantios em regiões de alto déficit hídrico e com ocorrência de geadas fortes, desenvolvendo-se bem em solos pobres, erodidos, com pouca drenagem e pH abaixo de 3,5.

A árvore de *Acacia mangium* é normalmente de porte alto, podendo atingir de 25 a 30 metros de altura e diâmetro até 85 cm na fase adulta; quando plantada em povoamentos puros, tem apresentado bom crescimento e se caracteriza por excelente adaptação em solo (FONSECA, 2005).

Algumas características anatómicas e físicas da madeira de *A. mangium* são:

- limites de anéis de crescimento indistintos ou ausentes; anéis de crescimento macroscopicamente visíveis em madeira proveniente de certas regiões;

- cerne castanho claro;

- cor do alburno distinto a cor do cerne;

- densidade básica variando entre 0,400 e 0,600g/cm³;

- elementos de vasos dispostos em padrão não específico, agrupados, geralmente em grupos radiais curtos (de 2–3 vasos); diâmetro tangencial de 120 a 160 µm; frequência de vacos de 4 a 9 vasos/mm²; placas de perfuração simples; tilos nos vasos ausentes;

- fibras de paredes finas e de paredes de espessura média; comprimento médio de 0,9 a 1,3mm;

2.1.4 *Acacia crassicarpa*

Acacia crassicarpa são nativas do norte da Austrália, Indonésia, Papua Nova Guiné e das ilhas do pacífico, entre latitudes 1-20° S, altitudes entre 0 e 700m e com precipitação 700 - 3500 mm (TURNBULL, 1986). A espécie cresce em solo de variada textura, profundidade, drenagem, fertilidade e pH. Sua forma de crescimento depende da origem da espécie, em superfícies salinas e sem vento não crescem mais que 5 m, já em solos férteis os troncos são cilíndricos e com mais de 35m e com DAP de 1m,

essas madeiras são usadas para produção de polpa celulósica, madeira laminada, lenha e muitos outros usos.

As zonas florestais da Indonésia que têm sido degradada pela grande escala madeireira comercial e são frequentemente convertidas em pastagens, devido à queima e agricultura do crescimento da floresta secundária. A *Acacia crassicarpa* é uma das espécies que fixa nitrogênio e tolera fogo. (TURNBULL, 1986). Sendo assim a *Acacia crassicarpa* é uma excelente candidata para recuperação florestal e plantações industriais nos trópicos. Os solos nestas áreas são também pobres em nutrientes e falta fauna no solo, que normalmente ocorrem em florestas tropicais (BERENQUER, 2004).

A madeira de *Acacia crassicarpa* varia de densidade básica entre 0,470 a 0,638 g/cm³, dependendo do crescimento do local, e em local sem ventos a densidade chega a 0,710 g/cm³ (CLARK et al., 1991). Um comprimento de fibra médio de 0,83mm e produz cerca de 300 kg/m³ de polpa. A polpa é aceitável para uma ampla variedade de produtos finais incluindo papel para impressão, escrita e embalagem. (CLARK et al., 1991).

Toda a espécie de Acácias tem um rápido crescimento em climas tropicais úmidos e têm sido amplamente utilizadas em plantações. No entanto, nenhuma espécie de *Acacias* cresce como *Acacia crassicarpa* em solos rasos, encharcados ou com pouca fertilidade (BERENQUER, 2004).

Algumas características anatómicas e físicas da madeira de *A. crassicarpa* são:

- limites de anéis de crescimento indistintos ou ausentes;
- cerne castanho claro;
- cor do alburno distinto a cor do cerne;
- densidade básica variando entre 0,470 e 0,638g/cm³.
- fibras de paredes finas e de paredes de espessura média; comprimento médio de 0,83mm;

2.1.5 *Eucalyptus nitens*

Eucalyptus nitens pertence à família da Mirtaceae, ocorre na Austrália, nos Estados de Victoria e Nova Gales do Sul e Chile em latitudes entre 30° a 38°S e

altitudes entre 600 e 1.600 m. O clima local varia de temperado a subtropical e de úmido a subúmido, com temperaturas médias dos meses mais quente entre 21°C e 26°C e com médias dos meses mais frio entre -5°C e 2°C. O número de geadas severas varia de 50 a 150 por ano. Na maior parte da área de sua distribuição, há ocorrência de neve, que se mantém sobre o solo por vários dias ou semanas. A precipitação média anual é de 750 mm a 1.750 mm, com distribuição relativamente uniforme durante o ano, a precipitação mensal geralmente não é inferior a 50 mm.

Na Austrália, sua madeira tem sido utilizada para a produção de polpa celulósica, compensado e madeira serrada, bem como na indústria moveleira e em construções.

No Chile a superfície plantada de *Eucalyptus* alcança 330.000 ha, das quais 80% correspondem *Eucalyptus globulus* e 20% *Eucalyptus nitens*. A introdução de *Eucalyptus nitens* no Chile foi em 1962 em parcelas experimentais do Instituto Florestal, posteriormente a partir de 1980 verificou-se o potencial da espécie, apresentando um rápido crescimento 30m³/ha por ano sendo convertido em uma grande fonte de energia e de matéria-prima para diversas indústrias, especialmente de papel e celulose (INFOR, 2005).

No Brasil, *Eucalyptus nitens* tem-se mostrado potencial para regiões sujeitas a geadas. A heterogeneidade observada em seu comportamento, nos diversos ensaios a que foi submetida, decorre, provavelmente, da interação entre local de plantio e procedência. Esse fato, aliado à grande variabilidade, normalmente observada entre procedências, sugere boas perspectivas de ganhos genéticos através da seleção.

Algumas das características físicas e químicas da madeira de *E. nitens* são:

- densidade básica média que varia de 0,420 a 0,550 g/cm³;
- comprimento de fibras entre 0,78 a 0,95mm;
- lignina entre 20-23%

2.1.6 *Eucalyptus globulus*

O *Eucalyptus globulus* é originário da ilha da Tasmânia, Promório de Wilson e costas do estado de Victória além das ilhas do estreito de Bass entre Tasmânia e o continente Australiano. O *Eucalyptus globulus* tem sido plantado em vários países como

Espanha, Portugal e Chile. A madeira dessa espécie é utilizada como fonte de fibra curta na indústria de celulose e papel. Esta espécie tem rápido crescimento, madeira de média a alta densidade, alto rendimento de polpa e boas propriedades da fibra e do papel. (RESQUIN, 2002).

O *Eucalyptus globulus* possui uma distribuição natural bastante restrita, pois se encontra limitado a pequenas manchas da zona litorânea do Sudeste e Sul da Tasmânia, nas Ilhas Flinders e King entre a Tasmânia e a Austrália, e no Estado de Victória, junto ao Cabo Otway e Promotório Wilsons, em altitudes compreendidas entre o nível do mar e 400 metros. A latitude varia para esta espécie de 38 a 43° Sul. O clima é temperado frio, uniforme de úmido a subúmido. As temperaturas médias anuais máximas estão em torno de 21°C e as mínimas 4°C. A precipitação média anual varia entre 500 e 1.500 milímetros (CARDOSO et al., 2002).

O *Eucalyptus globulus* foi à primeira espécie de eucalipto que se espalhou pelo mundo devido ao seu rápido crescimento e fácil adaptação. Tem sido implantado principalmente em Portugal, Espanha, Uruguai, Chile, Peru, Equador, Bolívia, Brasil (principalmente no Estado do Rio Grande do Sul), Argentina, Estados Unidos e Etiópia, sendo que nos anos 90 a área total plantada no mundo era da ordem de 1.100.000 ha (GOES, 1991).

No Chile, o *Eucalyptus globulus* é uma das espécies florestais de maior importância econômica, por seu rápido crescimento, sua adaptação a uma ampla faixa de condições climáticas e sua aptidão celulósica.

Algumas das características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus globulus* são:

- densidade básica média que varia de 0,430 a 0,710 g/cm³;
- fibras com comprimento médio de 0,670 a 1,220 mm;
- cor do cerne marrom e cor do alburno similar a cor do cerne;
- elementos de vasos dispostos em cadeias oblíquas e/ou radiais e padrão não específico, exclusivamente solitários; diâmetro tangencial de 60 a 230µm; frequência de vasos de 4 a 6 vasos/mm²; placas de perfuração simples; tilos nos vasos presentes, de paredes finas.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Material

Para a realização deste trabalho foram utilizados materiais genéticos comerciais destinados a produção de polpa celulósica das seguintes espécies:

- 1- *Acacia crassicaarpa* com idade de 6 anos plantados na Indonésia;
- 2- *Acacia mangium* com idade de 6 anos plantados na Indonésia;
- 3- *Eucalyptus globulus* com idade de 12 anos plantados no Chile;
- 4- *Eucalyptus nitens* com idade de 12 anos plantados no Chile;
- 5- *Populus tremuloides* com idade de 55 anos originária de floresta natural do Canadá.

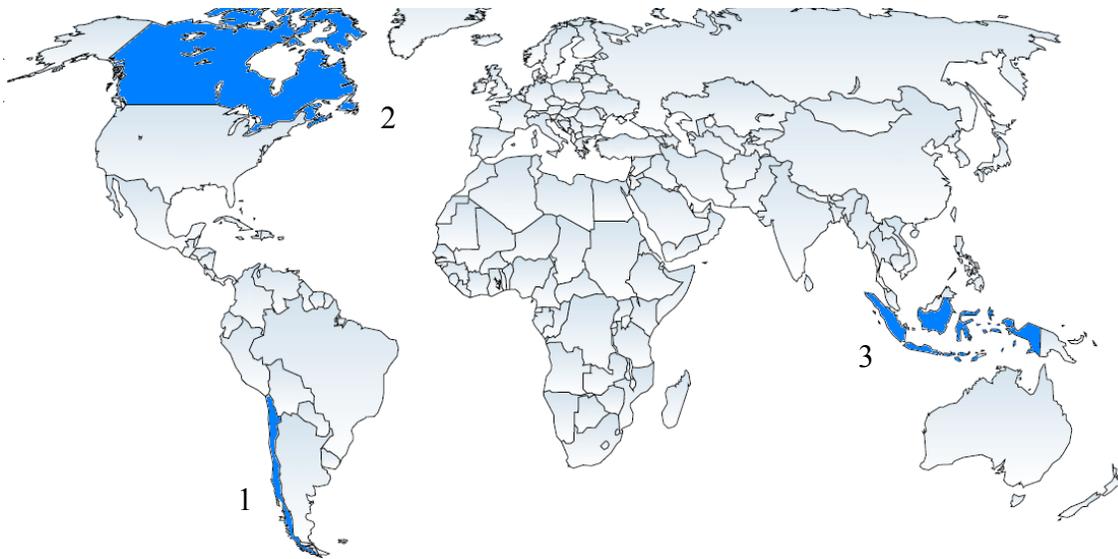


Figura 1 - Representação dos países onde foram coletadas as amostras das madeiras utilizadas nesse trabalho; 1) Chile, 2) Canadá, 3) Indonésia

2.2.1.1 Amostragem

Para realização deste trabalho foram abatidas 5 árvores de cada espécie com o diâmetro médio do povoamento com base nos dados de inventário florestal. Em termos de delineamento experimental, deve-se destacar que neste trabalho, para cada espécie,

a árvore é considerada como o elemento de repetição. Para cada árvore foram retirados 6 discos com aproximadamente 2,5 cm de espessura de cada altura (base, 25%, 50%, 75% e 100%), considerando a altura comercial de 6 cm (Figura 2). Os discos foram devidamente identificados por espécie, árvore e altura, secos ao ar e encaminhados ao Laboratório de Química, Celulose e Energia da Universidade de São Paulo – USP/ESALQ em Piracicaba – SP.

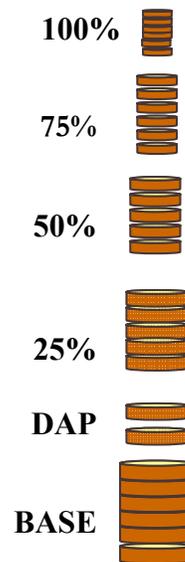


Figura 2 - Amostragem de discos por árvore

Para cada árvore e cada altura utilizou-se 1 disco para determinação da densidade básica e 4 discos (total de 20 discos/árvore) para produção de cavacos manualmente, os quais, depois de picados, foram selecionados visualmente para retirada de nós ou qualquer outra anormalidade e homogeneizados (1 amostra composta por árvore) sendo então acondicionados em sacos de polietileno.

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Caracterização da madeira

2.2.2.1.1 Densidade básica da madeira.

Para a determinação da densidade, inicialmente mediu-se o diâmetro dos discos com casca e sem casca e através de duas medições ortogonais, sendo o diâmetro utilizado a media destas determinações; após esta etapa os discos foram subdivididos em 4 cunhas, sendo utilizadas 2 partes opostas, para a determinação de densidade básica através do método da balança hidrostática.

A densidade da madeira foi calculada pelas expressões:

$$\text{Densidade Básica da Madeira (Dbm) - g/cm}^3 = \frac{PSM}{PUM - PIM}$$

As medias ponderadas das espécies em estudo nesse trabalho foram calculadas pela seguinte expressão:

$$Dbp = \frac{1}{2} \frac{\left[(D^2_b + D^2_{25\%})(db + d_{25\%}) + (D^2_{25\%} + D^2_{50\%})(d_{25\%} + d_{50\%}) + (D^2_{50\%} + D^2_{75\%})(d_{50\%} + d_{75\%}) + (D^2_{75\%} + D^2_{100\%})(d_{75\%} + d_{100\%}) \right]}{D^2_b + D^2_{100\%} + 2(D^2_{25\%} + D^2_{50\%} + D^2_{75\%})}$$

Onde:

- D (base), D (25%), D (50%), D (75%) e D (100%) - diâmetro dos discos em diferentes alturas com casca e sem casca;
- d (base), d (25%), d (50%), d (75%) e d (100%), densidade básica a diferentes alturas.

Para cada árvore foi calculado o Índice de Heterogeneidade para densidade básica da madeira que procura expressar a maior ou menor variabilidade da densidade no sentido longitudinal, a partir das densidades obtidas dos discos (BARRICHELO; BRITO, 1984).

O Índice de heterogeneidade (IH) é expresso pela equação:

$$IH = \left(\frac{A-B}{x4} \right) + \left(\frac{A-C}{x3} \right) + \left(\frac{A-E}{1} \right) + \left(\frac{B-C}{x3} \right) + \left(\frac{B-D}{x2} \right) + \left(\frac{B-E}{1} \right) + \left(\frac{C-D}{x2} \right) + \left(\frac{C-E}{1} \right) + \left(\frac{D-E}{1} \right)$$

2.2.2.1.2 Composição química

Amostras de cavacos das espécies foram processadas em moinho Wiley, classificadas em peneira de 40/60 mesh e devidamente acondicionadas para realização de análises de caracterização de acordo com a metodologia descrita pela Technical Association of Pulp and Paper Industry - TAPPI.

O material foi analisado quimicamente com relação aos seguintes parâmetros: teor de extrativos totais, teor de lignina e teor de holocelulose; a metodologia utilizada nesta etapa foi adaptada das normas TAPPI e encontra-se descrita no Apêndice A.

2.2.2.1.3 Caracterização morfológica das fibras

Dos cavacos de cada árvore foi retirada uma sub-amostra para maceração utilizando solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1) a 60°C, por 48hs (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951); após este período as fibras foram lavadas em água corrente, coradas com safranina diluída e montadas em lâminas histológicas.

Com o material dissociado foram montadas 10 lâminas para cada material e medidas em total de 100 fibras (10 fibras/lâmina) sendo determinadas as seguintes dimensões: comprimento (C), largura (L), espessura de paredes (E) e diâmetro do lume (DL). Os resultados foram apresentados como sendo a média aritmética das 100 medições efetuadas para cada dimensão.

A partir das médias das dimensões de fibra foram calculadas as seguintes relações:

Fração parede (FP): relação percentual entre duas vezes a espessura da parede celular e a largura da fibra. A partir das médias das dimensões de fibra foram calculadas as seguintes relações:

$$FP = \left(\frac{2e}{L} \right) \times 100$$

Coeficiente de flexibilidade (CF): relação percentual entre o diâmetro do lume e a largura da fibra.

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \times 100$$

Índice de Runkel (IR): relação entre duas vezes à espessura da parede celular e o diâmetro do lume.

$$IR = \left(\frac{2e}{DL} \right)$$

Onde:

C = comprimento da fibra;

E = espessura da parede;

L = largura da fibra;

D = diâmetro do lume.

2.2.2.1.4 Delineamento experimental e análise estatística

Neste trabalho adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, aplicando-se a análise da variância para os principais parâmetros considerados neste trabalho. Quando a análise de variância foi significativa, utilizou-se o teste de Tukey.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Densidade básica

Entre parâmetros utilizados para determinar a qualidade da matéria-prima para a produção de polpa celulósica, a densidade básica é um dos mais empregados, uma vez que está relacionada com a produtividade do digestor e com a qualidade do produto final.

Para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada de densidade básica fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimento do processo, bem como se encontra intimamente associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa.

Segundo Morfienski et al. (2003) um estudo do conjunto de características da “árvore industrial” mostrou que a densidade básica, juntamente com crescimento volumétrico e o rendimento do processo de polpação são as características de maior impacto na capacidade e custo de produção. O estudo mostrou, ainda, que a densidade básica é a característica que exerce maior influência na qualidade da polpa. No entanto, a densidade básica é um parâmetro de qualidade complexo, pois varia radial e longitudinalmente numa mesma árvore, entre árvores da mesma espécie, entre espécies, idade, espaçamento e local dos plantios.

Panshin e De Zeew (1980) apresentaram os principais modelos de variação longitudinal dentro das árvores, o primeiro decrescente uniformemente com a altura, o segundo decrescente até o meio do tronco e crescente deste ponto até o topo e, crescente da base para o topo não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

Barrichelo, Brito e Migliorini (1982), descreve que na área de tecnologia de polpa celulósica, é importante o estudo da variabilidade da densidade básica dentro da árvore, uma vez que a madeira varia quer seja no sentido radial ou longitudinal, dentro da árvore, entre as espécies e entre os gêneros. Barrichelo, Brito e Couto (1983), menciona que a variação da densidade básica no sentido longitudinal das árvores de eucalipto, tende a ser elevada na base; diminuindo a 25% da altura comercial e crescendo novamente a partir deste ponto. Entretanto Souza e Barrichello (1985) observaram que os modelos de variação da densidade básica dentro da árvore são bastante diversos entre as espécies.

Neste trabalho foram consideradas as variações de densidade básica no sentido longitudinal da árvore. Na tabela 2 estão apresentados os resultados de densidade básica da madeira e índice de heterogeneidade da espécie *Populus tremuloides*.

Tabela 2 - Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie *Populus tremuloides*

Árvore	Posição					Pond	IH
	base	25	50	75	100		
1	0,373	0,375	0,395	0,390	0,377	0,382	0,265
2	0,377	0,330	0,349	0,339	0,370	0,348	0,579
3	0,365	0,370	0,402	0,383	0,363	0,378	0,413
4	0,356	0,381	0,402	0,415	0,400	0,384	0,646
5	0,353	0,421	0,410	0,379	0,388	0,397	0,792
Média	0,365	0,375	0,392	0,381	0,380	0,378	0,539
DP	0,0103	0,0322	0,0242	0,0273	0,0147	0,0181	0,205
CV(%)	2,81	8,58	6,19	7,15	3,87	4,80	37,98

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; Pond – densidade básica – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade.

Analisando a tabela 2 nota-se que a espécie *Populus tremuloides* no sentido longitudinal da árvore apresentou um pequeno aumento de densidade básica até a altura de 50%, logo após apresentou leve queda que prosseguiu até atingir o topo. Os baixos resultados de variação da densidade básica no sentido longitudinal são importantes para o processamento deste material para produção de polpa celulósica, pois o material pode ser considerado mais homogêneo com relação a densidade básica da madeira. A maior homogeneidade da densidade básica observada para a madeira de *Populus tremuloides* pode proporcionar maior possibilidade e facilidade de otimização do processo, redução de custos operacionais e obtenção de produtos com qualidade uniforme.

Como consequência da baixa variação da densidade básica da madeira de *Populus tremuloides* ao longo do fuste, a espécie apresenta baixo índice de heterogeneidade.

A espécie *Populus tremuloides* em estudo apresentou média ponderada da densidade $0,378 \text{ g/cm}^3$, valor equivalente ao encontrado por Silva (2005), que estudando a mesma espécie com 60 anos de idade encontrou densidade de 0,377

g/cm³. Entretanto Jourez, Riboux e Leclercq (2001) obteve 0,393 g/cm³ para *Populus tremuloides* com 23 anos de idade, sendo um pouco superior ao valor encontrado neste estudo.

A espécie *Populus tremuloides* apresentou baixa densidade básica em relação às demais espécies estudadas neste trabalho. A menor densidade básica observada para a espécie em questão pode representar facilidade na impregnação dos cavacos durante a polpação, porém como aspecto negativo proporciona redução na capacidade de produção de uma unidade industrial considerando-se como limitante o volume útil do(s) digestor(es). A densidade básica não deve ser considerada como parâmetro único de avaliação da qualidade de madeiras destinadas à produção de polpa celulósica uma vez que outros parâmetros também apresentam influência sobre a eficiência do processo de polpação tais como teor de lignina, carboidratos e extrativos e também características de ordem anatômica.

Com o intuito de verificar se houve diferença significativa ao longo da árvore foi realizada análise de variância da média da densidade básica nas diferentes posições longitudinais da madeira, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Análise de variância para densidade básica da madeira de *Populus tremuloides* em função da altura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Posição	0,0018870	4	0,00047176	0,87	0,5008
Erro	0,0108852	20	0,00054426		
Total	0,0127722	24			

Através do resultado da análise de variância, verifica-se que ao nível de 5 % de probabilidade a espécie não apresenta diferença estatística significativa para densidade básica no sentido longitudinal.

Na tabela 4 estão apresentados os resultados de densidade básica da madeira e índice de heterogeneidade da espécie *Acacia mangium*.

Tabela 4 - Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie *Acacia mangium*

Arvore	Posição					Pond	IH
	base	25	50	75	100		
1	0,578	0,501	0,506	0,493	0,553	0,513	1,021
2	0,554	0,416	0,420	0,460	0,317	0,450	1,996
3	0,583	0,513	0,514	0,489	0,483	0,522	1,033
4	0,485	0,465	0,541	0,483	0,476	0,491	0,733
5	0,561	0,501	0,488	0,394	0,370	0,493	1,866
Média	0,552	0,479	0,494	0,464	0,440	0,494	1,330
DP	0,0394	0,0395	0,0456	0,0411	0,0947	0,0279	0,564
CV(%)	7,13	8,24	9,24	8,85	21,52	5,65	42,38

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; Pond – densidade básica – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade.

Conforme demonstrado na tabela 4 a densidade básica da madeira no sentido longitudinal apresentou decréscimo da base para 25%, aumentando um pouco em 50%, seguida de nova redução até atingir o topo.

Considerando o valor obtido da média ponderada para densidade básica das árvores de *Acacia mangium* 0,440 g/cm³ pode-se notar que a densidade básica é inferior aos valores apresentados por Vale, Brasil e Martins (1999) que estudando a mesma espécie encontrou densidade de 0,524 g/cm³. Petrik et al. (1984) também estudando a espécie de *Acacia mangium* com 7 anos obteve densidade 0,610 g/cm³, valor bastante superior ao encontrada nesse trabalho.

De acordo com Foelkel, Mora e Menochelli (1992) a densidade básica recomendada para madeiras destinadas a produção de celulose deve estar entre 0,450 a 0,550 g/cm³. A madeira de *Acacia mangium* atualmente é bastante utilizada na Indonésia, onde estudos mostram que seu rendimento no processo de polpação é superior a 50%. Embora apresente condições favoráveis ao processo de obtenção de polpa celulósica, a espécie é pouco utilizada no Brasil, que mantém sua produção de fibra curta focada na madeira de eucalipto, devido ao grande desenvolvimento silvicultural da espécie.

A tabela 4 mostra que o Índice de heterogeneidade para densidade básica para a madeira de *Acacia mangium* é alto, indicando que a madeira é bastante heterogênea com relação ao parâmetro em questão. Tal variação pode implicar em maiores dificuldades no processo de polpação, especialmente na fase de impregnação, visto

que a fração de madeira com maior densidade apresenta maior dificuldade de ser impregnada pelos reagentes de cozimento, o contrário ocorre com a fração de madeira menos densa.

Com os dados apresentados na tabela 4 foi feita análise de variância, a qual está apresentada tabela 5.

Tabela 5 - Análise de variância para densidade básica da madeira de *Acacia mangium* em função da altura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Posição	0,0355826	4	0,00889564	2,80	0,0535
Erro	0,06345	20	0,0031725		
Total	0,0990326	24			

O resultado da análise de variância para densidade básica em diferentes alturas para *Acacia mangium* mostra que não existe diferença estatística significativa entre as posições da árvore.

Na tabela 6 estão apresentados os resultados de densidade básica da madeira e índice de heterogeneidade da espécie *Acacia crassicarpa*.

Tabela 6 - Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie *Acacia crassicarpa*

Árvore	Posição					Pond	IH
	base	25	50	75	100		
1	0,542	0,443	0,465	0,481	0,441	0,473	1,155
2	0,626	0,567	0,549	0,572	0,520	0,568	0,971
3	0,640	0,592	0,537	0,549	0,533	0,574	1,233
4	0,547	0,414	0,435	0,446	0,431	0,455	1,473
5	0,639	0,578	0,517	0,498	0,607	0,553	1,676
Média	0,599	0,519	0,501	0,509	0,506	0,525	1,301
DP	0,0497	0,0835	0,0486	0,0513	0,0722	0,0562	0,276
CV(%)	8,30	16,09	9,71	10,07	14,25	10,72	21,22

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; Pond – densidade básica – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade.

A densidade básica da *Acacia crassicarpa* apresentou decréscimo da base até a posição de 50%, em seguida um aumento na posição de 75%, seguido de novo decréscimo no topo da árvore.

Em relação ao parâmetro de densidade básica, a espécie de *Acacia crassicarpa* também apresenta condições necessárias para sua utilização como matéria-prima no processo de obtenção de polpa celulósica.

A densidade básica média da madeira de *Acacia crassicarpa* foi de 0,525 g/cm³, o qual encontra-se bastante inferior ao valor apresentado por Clark et al. (1991) que estudando a mesma espécie encontrou densidade de 0,638 g/cm³. No entanto a madeira em questão apresentou um valor superior de densidade básica comparada a *Acacia mangium*.

A análise isolada de apenas um parâmetro de qualidade da madeira destinada a produção de polpa celulósica é pouco significativa. Além da densidade básica, as características químicas e anatômicas da madeira devem ser consideradas.

O índice de heterogeneidade se apresenta alto para a espécie de *Acacia crassicarpa*, assim como ocorreu com a espécie de *Acacia mangium*. Como essa variação da densidade básica no sentido longitudinal da madeira ocorreu para as duas espécies de acácia estudadas nesse trabalho, essa talvez possa ser uma característica típica do gênero *Acacia* além de poder estar relacionada ao nível de melhoramento genéticos dos materiais considerados.

A análise de variância para densidade básica da madeira de *Acacia crassicarpa* no sentido longitudinal da árvore, apresentada na tabela 7, mostra que não existe diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Análise de variância para densidade básica da madeira de *Acacia crassicarpa* em função da altura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Posição	0,0333018	4	0,00832544	2,11	0,1170
Erro	0,0788028	20	0,00394014		
Total	0,112105	24			

Na tabela 8 estão apresentados os resultados de densidade básica da madeira e índice de heterogeneidade da espécie *Eucalyptus nitens*.

Tabela 8 - Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie *Eucalyptus nitens*

Arvore	Posição					Pond	IH
	Base	25	50	75	100		
1	0,463	0,411	0,476	0,500	0,533	0,459	1,059
2	0,510	0,517	0,545	0,605	0,557	0,537	0,937
3	0,509	0,479	0,521	0,582	0,582	0,513	1,066
4	0,494	0,549	0,556	0,569	0,589	0,543	0,908
5	0,541	0,456	0,471	0,502	0,623	0,494	1,394
Média	0,503	0,482	0,514	0,552	0,577	0,509	1,073
DP	0,0284	0,0535	0,0392	0,0478	0,0341	0,0344	0,193
CV(%)	5,63	11,09	7,63	8,66	5,92	6,75	18,01

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; Pond – densidade básica – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade.

A densidade básica da madeira de *Eucalyptus nitens* mostrou uma leve queda da densidade básica na posição de 25%, seguido de um acréscimo até atingir o topo da árvore. O aumento de densidade básica da madeira nas partes mais altas da árvore pode estar relacionado com a presença da copa, pois na região de inserção de ramos há alterações na estrutura anatômica da madeira, provocando aumento da densidade e consequentemente da resistência mecânica da mesma.

As madeiras do gênero *Eucalyptus* são as dominantes para obtenção de polpa celulósica de fibra curta no Brasil, porém as espécies mais utilizadas no país são *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus Urophylla*. A espécie de *Eucalyptus nitens* é bastante utilizada no Chile.

Almeida (2003) estudando híbridos *E. urophylla* x *E.grandis* com 7 anos de idade, obtidos de plantios comerciais no Brasil obteve densidade básica de 0,499 g/cm³. Queiroz e Gomide (2003) estudando a mesma espécie com 6 anos, encontrou densidade básica de 0,447g/cm³. A densidade básica média encontrada para o *Eucalyptus nitens* em estudo 0,509 g/cm³ é um pouco superior comparada as obtidas pelas espécies comerciais utilizadas no Brasil, porém esse valor encontra-se em uma faixa aceitável, mostrando que o material em estudo apresenta boas características tecnológicas em relação ao parâmetro de densidade quando se objetiva a produção de polpa celulósica.

A espécie apresentou densidade mais elevada que a *Acacia mangium* e o *Populus tremuloides*, madeiras mais densas apresentam maiores dificuldades na

picagem e impregnação, maior consumo de reagentes e podem resultar em baixos rendimentos de processo e elevados teores de rejeitos.

Tabela 9 - Análise de variância para densidade básica da madeira de *Eucalyptus nitens* em função da altura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Posição	0,0289788	4	0,0072447	4,2	0,0126
Erro	0,0345372	20	0,00172686		
Total	0,063516	24			

A análise de variância apresentada na tabela 9 mostra que existe diferença estatística para densidade básica no sentido longitudinal das árvores de *Eucalyptus nitens*; visando completar a análise estatística realizou-se análise de regressão polinomial que indicou o modelo linear como o de melhor ajuste, porém o coeficiente de correlação (R^2) de 0,36 pode ser considerado muito baixo.

O índice de heterogeneidade para densidade básica da madeira de *Eucalyptus nitens* se mostrou relativamente alto podendo estar relacionado às diferenças na densidade básica ao longo do sentido longitudinal da madeira.

Na tabela 10 estão apresentados os resultados de densidade básica da madeira e índice de heterogeneidade da espécie *Eucalyptus globulus*.

Tabela 10 - Densidade básica da madeira e Índice de heterogeneidade da espécie *Eucalyptus globulus*

Arvore	Posição					Pond	IH
	base	25	50	75	100		
1	0,550	0,554	0,525	0,535	0,550	0,543	0,327
2	0,592	0,569	0,569	0,596	0,579	0,579	0,331
3	0,575	0,516	0,528	0,522	0,557	0,534	0,712
4	0,542	0,529	0,536	0,519	0,603	0,536	0,505
5	0,445	0,544	0,551	0,573	0,584	0,529	1,446
Média	0,541	0,543	0,542	0,549	0,575	0,544	0,665
DP	0,0573	0,0206	0,0184	0,0338	0,0215	0,0198	0,464
CV(%)	10,59	3,80	3,40	6,16	3,74	3,64	69,90

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; Pond – densidade básica – média ponderada; IH – índice de heterogeneidade.

O comportamento da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* mostrou uma estabilização até a altura 75% e um aumento observado no topo.

Com a baixa variabilidade da densidade básica ao longo da árvore, consequentemente o índice de heterogeneidade se manteve baixo para a espécie. De uma maneira geral a espécie apresentou baixo índice de heterogeneidade quando comparado as outras espécies estudadas.

Os resultados de densidade básica para *Eucalyptus globulus* quando comparados aos de materiais genéticos de eucalipto comumente utilizados no Brasil para produção de polpa celulósica podem ser considerados elevados. No entanto os dados de literatura disponíveis para *Eucalyptus globulus* mostram que a densidade básica obtida para o material neste trabalho é coerente; deve-se ainda considerar que a idade do material de *Eucalyptus globulus* utilizado neste trabalho, 12 anos, pode ter um efeito nos valores de densidade obtidos.

Duarte (2007) estudando *Eucalyptus globulus* com 12 anos provenientes de Portugal, obteve densidade básica $0,630 \text{ g/cm}^3$ valor bastante superior ao apresentado pela espécie neste trabalho $0,544 \text{ g/cm}^3$. Igatuar et al. (2000) encontrou resultados de densidade para *Eucalyptus globulus* com 7 anos entre $0,487$ a $0,641 \text{ g/cm}^3$ no sentido medula-casca. O mesmo autor em 2002 estudando a mesma espécie encontrou valor médio de densidade para 10 árvores de $0,549 \text{ g/cm}^3$. Hernan (1983) em estudos com *Eucalyptus globulus* de 9 anos encontrou valores $0,570 \text{ g/cm}^3$. Tomazello (1987) com plantação de 10 anos obteve valor de $0,480 \text{ g/cm}^3$. Entretanto Resquin (2002) salienta que a densidade básica de *Eucalyptus globulus* varia de $0,430$ a $0,710 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 11 - Análise de variância para densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* em função da altura

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Posição	0,00407704	4	0,00101926	0,90	0,4803
Erro	0,022546	20	0,0011273		
Total	0,026623	24			

Os resultados da tabela 11 mostram que não existe diferença estatística para o índice de heterogeneidade da densidade básica da madeira de *E. globulus*.

Para uma melhor comparação da densidade básica média ponderada entre as diferentes espécies estudadas neste trabalho foi realizada análise de variância e teste de tukey.

Tabela 12 – Análise de variância entre as espécies de estudo deste trabalho

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	P-Value
Entre grupos	0,0854068	4	0,0213517	18,27	0,0000
Dentro grupos	0,0233735	20	0,00116867		
Total (corr.)	0,10878	24			

Tabela 13 – Teste de Tukey para densidade básica da madeira

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	0,378 a
<i>Acacia mangium</i>	0,494 b
<i>Acacia crassicarpa</i>	0,510 b
<i>Eucalyptus nitens</i>	0,525 b
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,544 b

As médias seguidas da mesma letra não se diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados apresentado na tabela 13 mostram que as espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens* e *Eucalyptus globulus* não se diferem estatisticamente variando de 0,495 a 0,544 g/cm³ e apenas a espécie *Populus tremuloides* se diferenciou das demais com densidade 0,378 g/cm³.

Os resultados obtidos para densidade básica média das madeiras utilizadas neste trabalho podem ser considerados satisfatórios para produção de polpa celulósica.

Considerando-se isoladamente a densidade básica e seu impacto sobre o processo de produção de polpa celulósica, valores baixos para este parâmetro implicam em menor produtividade industrial, uma vez que os digestores apresentam um volume

útil determinado e madeiras com menor densidade representam menor massa de madeira por unidade de volume de digestor (SILVA, 2005).

A baixa variação da densidade básica no sentido longitudinal da madeira obtida para os materiais em estudo são fatores importantes para o processamento destes materiais na produção de polpa celulósica, visto que levarão a menores variações no processo de polpação e conseqüentemente a uma maior possibilidade e facilidade de otimização do processo como um todo contribuindo para uma maior capacidade de produção de polpa celulósica, redução de custos operacionais e obtenção de produtos com qualidade uniforme.

O índice de heterogeneidade mostrou-se, em média, mais alto para as espécies de Acácias. Por outro lado o *Populus tremuloides* apresentou o menor índice. Tal variação mostra a heterogeneidade entre diferentes espécies. Visando comparar o índice de heterogeneidade entre as espécies foi realizada a análise de variância como mostra na tabela 14.

Tabela 14 - Análise de variância do Índice de heterogeneidade para densidade básica da madeira

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	2,64125	4	0,660313	4,79	0,0071
Dentro grupos	2,75566	20	0,137783		
Total (corr.)	5,39691	24			

Tabela 15 - Teste de Tukey para Índice de heterogeneidade

<i>Espécies</i>	<i>Média</i>
<i>Populus tremuloides</i>	0,539 a
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,665 ab
<i>Eucalyptus nitens</i>	1,073 ab
<i>Acacia crassicarpa</i>	1,301 b
<i>Acacia mangium</i>	1,330 b

As médias seguidas da mesma letra não se diferem entre si, pelo teste de tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Através do teste de tukey para o Índice de heterogeneidade algumas espécies diferenciaram entre si. Sendo que a *Acacia crassicarpa* e *Acacia mangium* não apresentam diferenças estatísticas quanto ao índice de heterogeneidade; o mesmo ocorre entre as espécies de *Eucalyptus nitens* e *Eucalyptus globulus*. Já a espécie de *Populus tremuloides* se difere das demais espécies quanto ao índice de heterogeneidade. Tal fato mostra que espécies de um mesmo gênero de madeira apresentam características semelhantes no que diz respeito à variabilidade da densidade básica ao longo da árvore. Podendo refletir um mesmo padrão de variação longitudinal.

Para uma melhor visualização dos dados obtidos na tabela 15 os mesmos foram plotados em gráfico e encontram-se apresentados na figura 3.

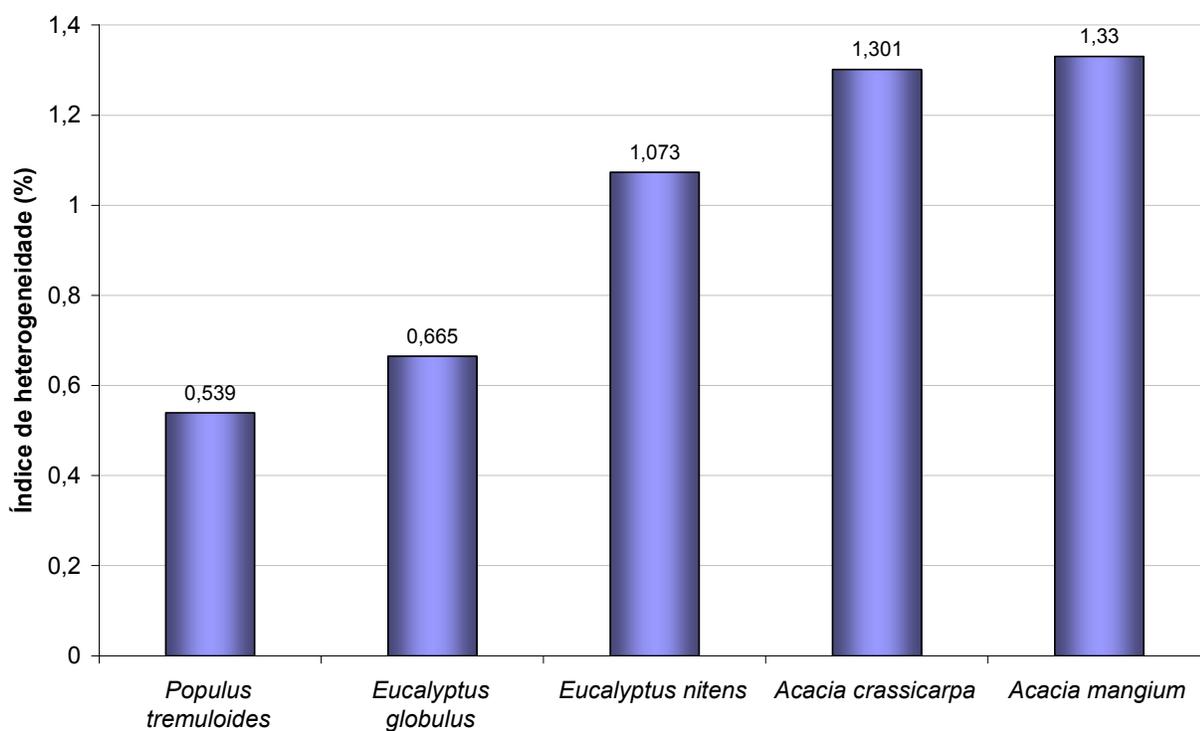


Figura 3 - Índice de heterogeneidade para densidade básica

Analisando a figura 3, pode-se notar que o índice de heterogeneidade mostrou-se mais alto para as espécies de Acácias e mais baixo para *Populus tremuloides*. Os diferentes valores obtidos para o índice de heterogeneidade mostram a variabilidade que ocorre no parâmetro densidade básica entre diferentes espécies.

2.3.2 Composição química

A composição química da madeira é um parâmetro de grande importância para os resultados de polpação, tais como o consumo de reagentes, rendimento de celulose e quantidade de sólidos gerados.

Os extrativos e a lignina são constituintes considerados como indesejáveis no processo de produção de polpa celulósica química, sendo suas determinações indicativas que podem propiciar, indiretamente, estimativas sobre rendimento de processo e consumo de reagentes durante a polpação (SILVA, 2005).

Os resultados das análises química da madeira para as espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Populus tremuloides*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* estão apresentados na tabela 16. Os resultados apresentados representam a média aritmética das 5 árvores de cada material considerado nesse trabalho.

Tabela 16 - Composição química das madeiras em estudo

Espécie	Extrativos totais (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina solúvel (%)	Lignina total (%)	Holocelulose (%)
<i>Acacia crassicarpa</i>	4,06	27,59	1,74	29,33	62,54
DP	1,31	0,59	0,12	0,56	1,50
CV	32,27	2,15	7,12	1,91	2,26
<i>Acacia mangium</i>	5,14	26,62	1,44	28,06	66,55
DP	0,80	0,75	0,23	0,78	1,27
CV	15,56	2,83	15,84	2,78	1,89
<i>Populus tremuloides</i>	6,91	17,96	4,11	22,07	71,02
DP	1,24	0,96	0,13	0,97	1,87
CV	17,87	5,35	3,24	4,40	2,63
<i>Eucalyptus nitens</i>	4,41	21,99	5,01	27,00	68,29
DP	0,51	0,87	0,40	0,73	1,04
CV	11,47	3,97	7,99	2,71	1,51
<i>Eucalyptus globulus</i>	5,45	20,21	5,65	25,85	68,43
DP	0,88	1,19	0,28	1,22	1,74
CV	16,11	5,88	4,94	4,73	2,53

DP – Desvio padrão; CV – coeficiente de variação

As análises químicas efetuadas para caracterização das espécies florestais utilizadas no presente trabalho evidenciaram diferenças bastante acentuadas. A análise de variância para os parâmetros considerados em termos de composição química da madeira pode ser visualizada nos Apêndices. Nas tabelas a seguir apresentam-se, quando a análise de variância indicou diferença estatística significativa, os resultados dos testes de tukey para os respectivos parâmetros.

Tabela 17 – Teste de tukey para o teor de extrativos totais

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	6,91 a
<i>Eucalyptus globulus</i>	5,45 a b
<i>Acacia mangium</i>	5,14 a b
<i>Eucalyptus nitens</i>	4,41 b
<i>Acacia crasscarpa</i>	4,06 b

Tabela 18 – Teste de Tukey para o teor de lignina total

Espécies	Média
<i>Acacia crasscarpa</i>	29,33 a
<i>Acacia mangium</i>	28,06 ab
<i>Eucalyptus nitens</i>	27,00 bc
<i>Eucalyptus globulus</i>	25,85 c
<i>Populus tremuloides</i>	22,07 d

De acordo com as análises estatísticas realizadas, podem-se notar diferenças entre os materiais, as quais são melhor visualizadas nas figuras 4 e 5.

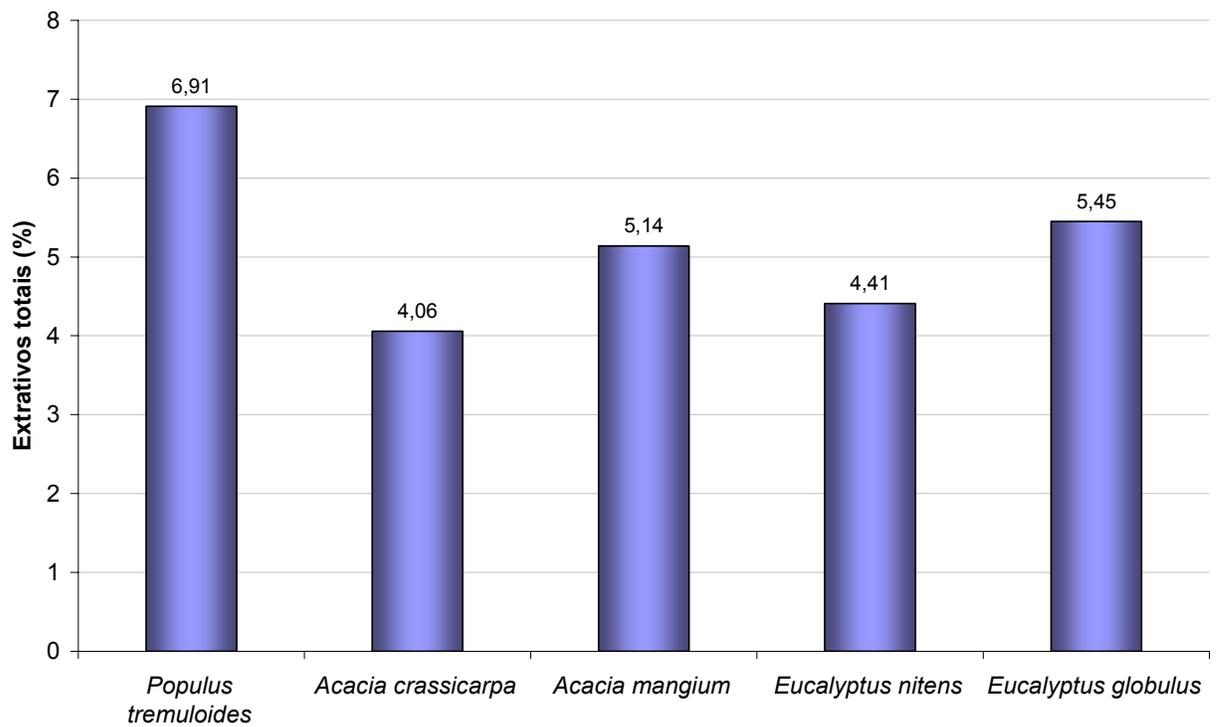


Figura 4 - Porcentagem de extrativos totais

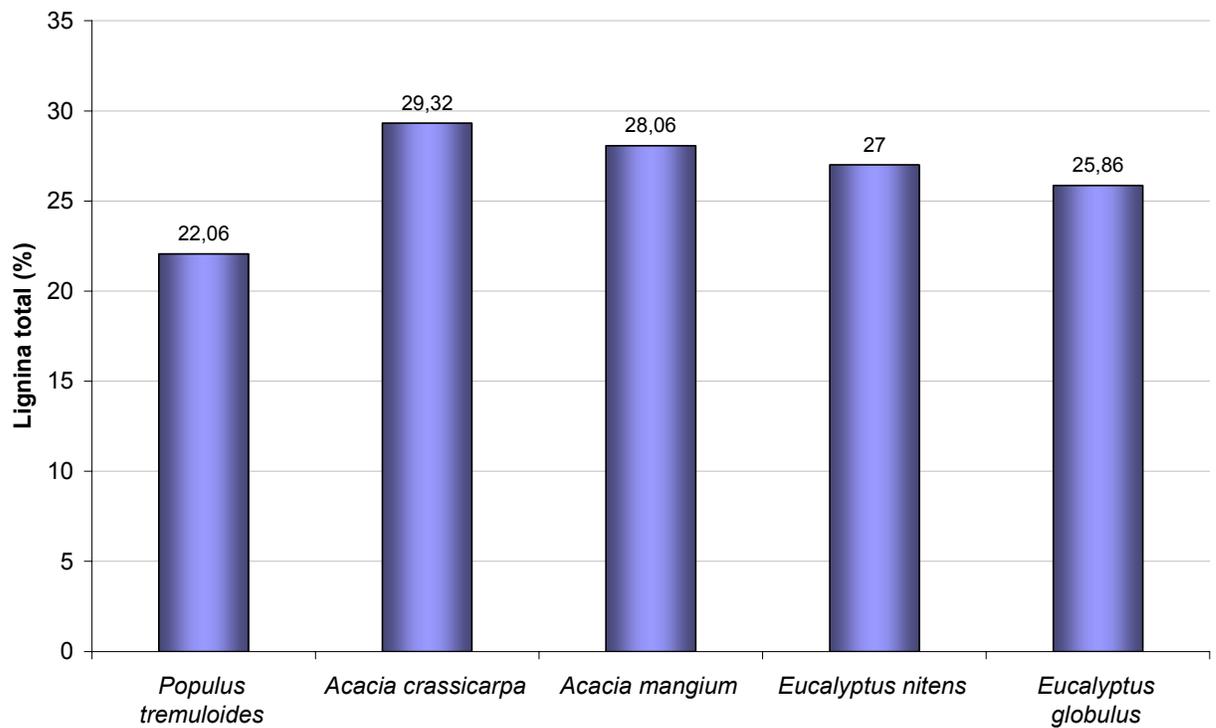


Figura 5 - Porcentagem de Lignina total

Considerando as características químicas avaliadas para as matérias-primas em questão, observa-se que as espécies apresentam variabilidade significativa no teor de extrativos da madeira. As espécies de *Eucalyptus nitens* e *Acacia crassicarpa* apresentam os menores teores de extrativos comparados às outras espécies. Já as espécies *Eucalyptus globulus* e *Acacia mangium* obtiveram um valor mais elevado de extrativos totais, mas não se diferenciaram estatisticamente através do teste de Tukey. A madeira de *Populus tremuloides* apresentou maior teor de extrativos, se diferenciando estatisticamente das demais espécies. Elevados teores de extrativos na madeira se constituem em um fator negativo, pois estão relacionados a formação incrustações resinosas do tipo “pitch”.

O teor de lignina também é um parâmetro muito importante para a avaliação de madeiras destinadas à produção de polpa celulósica por processos químicos. Comparando os diferentes materiais analisados, verifica-se que as espécies do gênero *Acacia* apresentaram maiores teores de lignina, sendo que a *Acacia crassicarpa* apresentou valor superior com 29,33% seguido da *Acacia mangium* com 28,06%, não se diferenciando estatisticamente entre si. Já a espécie *Populus tremuloides* apresenta um valor consideravelmente mais baixo para o teor de lignina (22,07%), se diferenciando estatisticamente das demais espécies, como visualizado na tabela 16. O baixo teor de lignina se constitui em um fator bastante favorável no processo de polpação, visto que o principal objetivo do processo é a retirada de lignina da madeira, para conseqüente individualização das fibras.

As demais espécies *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* apresentaram teor de lignina de 25,85% e 27,00% respectivamente e não diferem estatisticamente entre si. Comparando os resultados obtidos neste trabalho aos encontrados por Mariani et al. (2004) para a espécie de *Eucalyptus nitens* pode-se notar que o autor obteve valores superiores para extrativos totais 5,6% e inferior para lignina 25,1%. Porém Morfienski et al. (2003) apresentou resultados consoantes ao estudo em questão com 27,8% de lignina total.

Paschoal Neto et al. (2005) estudando *Acacia mangium* proveniente da Indonésia com 7 anos de idade obtiveram teor de lignina de 27,1% e extrativos em etanol-tolueno de 4,06%, valores menores aos apresentados nesse estudo.

Fidel e Tamayo (1999) avaliaram amostras das madeiras de *Acacia mangium* provenientes de plantio das Filipinas com 11 anos, encontrou valor de 21,43% para lignina e 3,52 para extrativos em etanol-tolueno. Keays (1967) para a espécie *Populus tremuloides* apresentou valores consoantes ao obtidos neste trabalho.

O teor de lignina total da madeira de *Eucalyptus globulus* oriunda do Chile utilizada neste trabalho pode ser considerado semelhante frente aos materiais de eucalipto normalmente utilizados no Brasil para produção de polpa celulósica (DUARTE, 2007).

Carvalho (1999) em estudo com a madeira de *Eucalyptus globulus* para produção de polpa celulósica salienta que os teores de lignina encontrados são diferentes de acordo com as origens das madeiras; a autora apresenta valores de lignina insolúvel variando de 17 a 24% para madeira de *Eucalyptus globulus*, os quais são inferiores ao obtido para a mesma espécie neste trabalho.

De acordo com Carvalho (1999), em geral maiores teores de lignina presentes na madeira podem exigir maiores cargas de reagentes químicos durante o processo de cozimento, assim como maiores teores de extrativos, que também colaboram para tal, além de possuírem maior potencial para a formação de depósitos de “pitch” em equipamentos, principalmente, telas e feltros.

Segundo Macleod (1987) citado por Silva (2005) afirma que a madeira de *Populus tremuloides* apresenta composição química não usual quando comparada as demais espécies de madeiras canadenses, essa madeira se caracteriza por um baixo teor de lignina o que significa que a madeira pode ser deslignificada mais facilmente que as outras implicando em processos de polpação química mais rápida e eficiente; essa espécie também apresenta um teor elevado de polissacarídeos podendo proporcionar maiores rendimentos nos processos químicos de polpação.

A espécie *Populus tremuloides* apresentou teor de lignina inferior comparada às outras espécies em estudo, tal fato está relacionado tanto pelas características intrínsecas à espécie como pela idade da madeira, já que a espécie se encontra com 55 anos. Trugilho e Lima (1996) salientaram que a lignina tende a diminuir com o aumento da idade, pois as espécies mais jovens tendem a possuir uma maior proporção de madeira juvenil que é mais rica em lignina do que a madeira madura.

Os principais grupos de componentes químicos da madeira que apresentam efeito sobre a eficiência do processo de polpação podem ser reunidos em extrativos totais, lignina (solúvel e insolúvel) e holocelulose. Com base na metodologia utilizada neste trabalho o teor de holocelulose é obtido a partir da subtração dos teores de lignina e extrativos totais.

Com os dados obtidos na tabela 16 foram feitas as análises de variância que se encontram nos apêndices e o teste de tukey apresentado na tabela 19. A diferença é melhor visualizada na figura 6.

Tabela 19 – Teste de Tukey para teor de holocelulose

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	71,02 a
<i>Eucalyptus globulus</i>	68,43 ab
<i>Eucalyptus nitens</i>	68,29 ab
<i>Acacia mangium</i>	66,55 b
<i>Acacia crassicarpa</i>	66,54 b

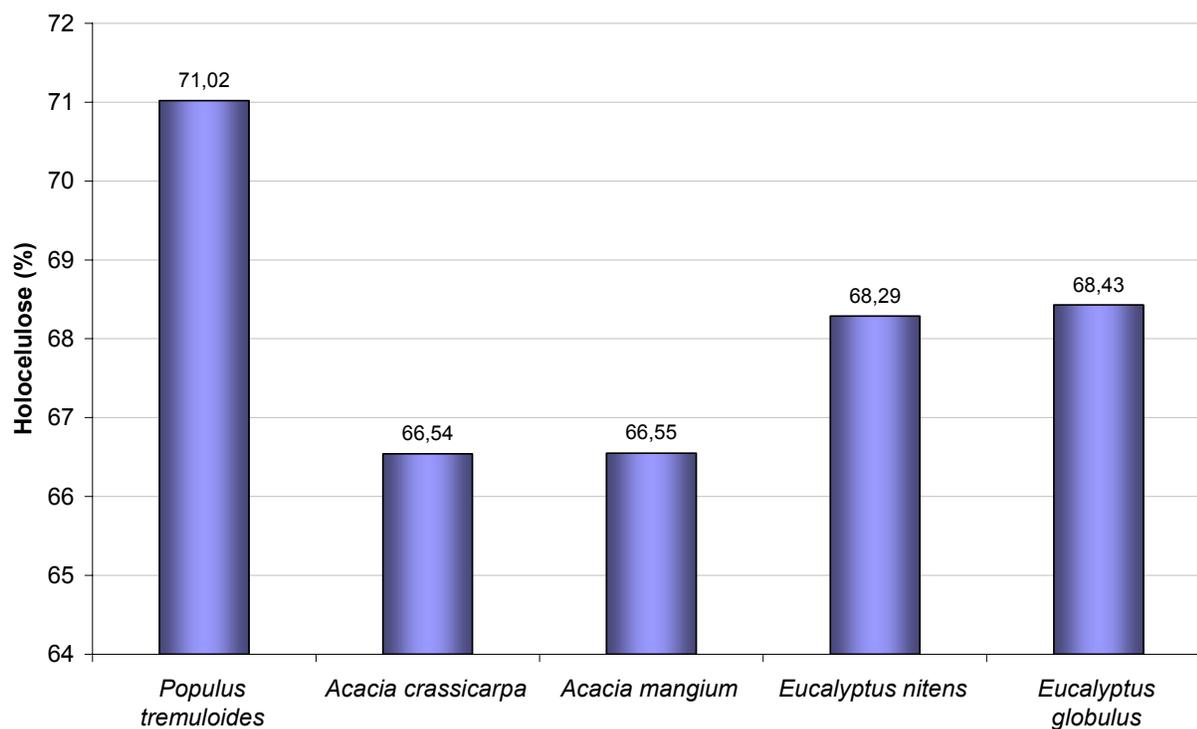


Figura 6 - Teor de holocelulose

A fração de holocelulose da madeira é representada pela celulose e hemiceluloses se constitui no item de interesse no processo de polpação. Sendo assim o maior teor de holocelulose na madeira é extremamente desejado quando se objetiva o processo de polpação.

Como conseqüência do menor teor de lignina da espécie de *Populus tremuloides* em comparação as demais espécie, observa-se um maior teor de holocelulose, o que pode implicar em maior rendimento de polpa ao final do processo.

De acordo com Almeida e Silva (2001) o teor de holocelulose está relacionado com o rendimento do processo de polpação. Assim com base nas análises de composição química das espécies em estudo, a madeira *Populus tremuloides* se destaca das demais por apresentar elevados teores de holocelulose e baixos teores de lignina, seguida pelas espécies de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* que também apresentam elevado teor de holocelulose, sendo que os valores obtidos nesse parâmetro para ambas as espécies não se diferem significativamente. Já as espécies do gênero *Acacia* apresentaram o menor teor de holocelulose e maior teor de lignina, também não houve diferença estatística entre as duas espécies.

2.3.3. Dimensões das fibras

Além da densidade e da composição química, na avaliação de matérias-primas destinadas à produção de polpa celulósica é importante avaliar as dimensões das fibras, uma vez que estas são fundamentalmente, os elementos constitutivos da polpa celulósica e suas dimensões estão relacionados com as características dos papéis em que poderão ser obtidos (SILVA, 2005).

O comprimento de fibras é um importante parâmetro das polpas celulósicas fundamentalmente quando se comparam polpas de fibra longa (produzida a partir de coníferas) e de polpas de fibra curta (produzidas a partir de folhosas). As polpas de fibra longa são principalmente utilizadas para produção de papéis com elevadas resistências mecânicas (papéis de embalagem). Para as polpas de fibra curta, o comprimento

apresenta caráter secundário, sendo as dimensões transversais mais importantes. (SILVA, 2005).

Na tabela 20 estão apresentados os resultados médios das análises de dimensões das fibras dos materiais utilizados neste trabalho realizado através do material dissociado.

Tabela 20 - Dimensões das fibras

<i>Espécie</i>	<i>C (mm)</i>	<i>L(μm)</i>	<i>Dl(μm)</i>	<i>E(μm)</i>	<i>FP (%)</i>	<i>CF(%)</i>	<i>IR</i>
Acacia crassicarpa	1,05	17,1	12,0	2,6	30	70	0,43
Acacia mangium	1,01	16,0	9,6	3,2	40	60	0,67
Populus tremuloides	1,09	26,6	18,6	4,0	30	70	0,43
Eucalyptus nitens	0,94	21,6	14,1	3,7	34	65	0,52
Eucalyptus globulus	0,88	21,3	10,8	5,1	48	51	0,94

C = comprimento das fibras; L = largura das fibras; Dl = diâmetro do lume; E = espessura da parede; FP = fração parede; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel.

As análises anatômicas efetuadas para caracterização das espécies florestais utilizadas no presente experimento evidenciaram diferenças bastante acentuadas. A análise de variância das dimensões das fibras pode ser visualizada nos Apêndices.

Os resultados mostram que algumas propriedades tiveram diferenças significativas, conforme representado pelo teste de Tukey.

Tabela 21 – Teste de tukey – Comprimento das fibras

<i>Espécies</i>	<i>Média</i>
<i>Populus tremuloides</i>	1,09 a
<i>Acacia crassicarpa</i>	1,05 a
<i>Acacia mangium</i>	1,01 ab
<i>Eucalyptus nitens</i>	0,94 bc
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,88 c

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22 – Teste de Tukey – Largura das fibras

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	26,6 a
<i>Eucalyptus nitens</i>	21,6 b
<i>Eucalyptus globulus</i>	21,3 b
<i>Acacia crassicarpa</i>	17,1 c
<i>Acacia mangium</i>	16,0 d

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23 – Teste de Tukey – Diâmetro do lúmen

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	18,6 a
<i>Eucalyptus nitens</i>	14,1 b
<i>Acacia crassicarpa</i>	12,0 b
<i>Eucalyptus globulus</i>	10,8 b
<i>Acacia mangium</i>	9,6 b

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24 – Teste de Tukey – Espessura da fibra

Espécies	Média
<i>Eucalyptus globulus</i>	5,1 a
<i>Populus tremuloides</i>	4,0 b
<i>Eucalyptus nitens</i>	3,7 c
<i>Acacia mangium</i>	3,2 d
<i>Acacia crassicarpa</i>	2,6 e

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 25 – Teste de Tukey – Fração parede

Espécies	Média
<i>Eucalyptus globulus</i>	48 a
<i>Acacia mangium</i>	40 b
<i>Eucalyptus nitens</i>	34 c
<i>Populus tremuloides</i>	30 d
<i>Acacia crasscarpa</i>	30 d

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 26 – Teste de Tukey – Coeficiente de flexibilidade

Espécies	Média
<i>Populus tremuloides</i>	70 a
<i>Acacia crasscarpa</i>	70 a
<i>Eucalyptus nitens</i>	65 b
<i>Acacia mangium</i>	60 c
<i>Eucalyptus globulus</i>	51 d

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 27 – Teste de Tukey – Índice de runkel

Espécies	Média
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,94 a
<i>Acacia mangium</i>	0,67 b
<i>Eucalyptus nitens</i>	0,52 c
<i>Populus tremuloides</i>	0,43 d
<i>Acacia crasscarpa</i>	0,43 d

*Os valores apresentados com a mesma letra não se difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme apresentado na tabela 20, as fibras de *Eucalyptus nitens* se diferenciaram dos estudos feitos por Mariani et al. (2004) o qual encontrou 1,038mm. As fibras de *Populus tremuloides* apresentaram 20% maior do que *Eucalyptus nitens* isso

se deve ao fato da idade da árvore, que segundo Tomazello (1985), pode influenciar as dimensões das fibras, pois com o aumento da mesma as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões ao longo do raio até atingirem a estabilização em idades mais avançadas; pode ser observado que as matérias-primas estudadas neste trabalho seguiram a tendência salientada pelo autor, quanto maior a idade maior o comprimento, espessura e largura da fibra.

As fibras de *Eucalyptus globulus* apresentaram valores consoantes ao estudos feito por René, Gonzáles e Silva (2005) , e diferentes ao do estudo de Duarte (2007) obtendo 1,24 mm.

De acordo com as espécies estudadas o *Eucalyptus globulus* foi o que apresentou o menor comprimento de fibras.

Para permitir uma melhor visualização e interpretação dos dados apresentados na tabela 20, plotou-se gráficos para os valores de comprimento, largura e espessura da parede para as diferentes matérias-primas que estão apresentadas nas figuras 7, 8 e 9.

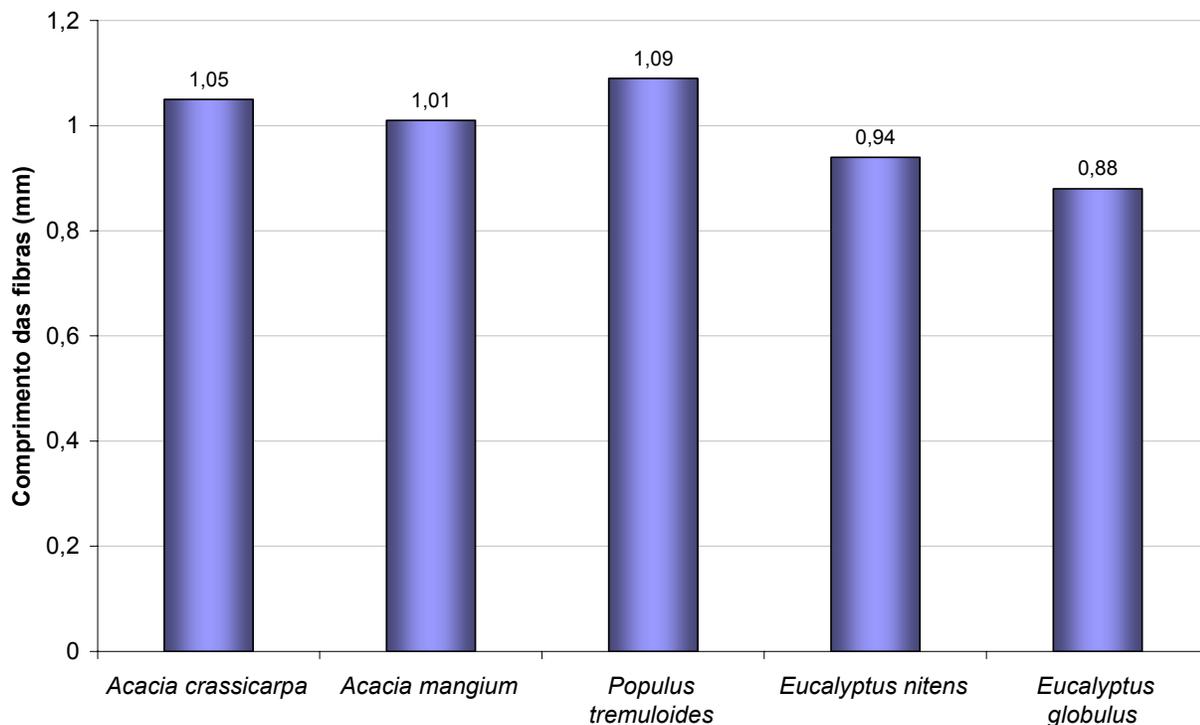


Figura 7 - Comprimento das fibras (mm)

Nas espécies de Acacias de idade de 6 anos, o comprimento da fibra se manteve entre 1,01 e 1,05 mm, enquanto que o *Eucalyptus globulus* do Chile com idade de 12 anos apresentou 0,88 mm de comprimento, diferenciando do *Eucalyptus nitens* com 0,94 mm e a espécie *Populus tremuloides* com o maior comprimento 1,09mm, em consonância com resultados apresentados por Tomazello (1985).

O comprimento das fibras e as demais dimensões das fibras estão relacionados com as propriedades da celulose e do papel. A partir das dimensões são obtidos diversos coeficientes e índices que se relacionam, da mesma forma, com as propriedades do produto obtido. Quanto ao comprimento, verifica-se que as fibras mais longas resultam em papel com maiores índices de resistência. Para essas fibras, a capacidade de desfibramento é aumentada durante o processo de refinação aumentando a eficiência das ligações inter-fibras. (TOMAZELLO FILHO, 1985).

Watson et al. (1961) citado por Silva (2005) descrevem que fibras de maior comprimento exercem influencia significativa e positiva sobre a resistência ao rasgo da folha de papel. Segundo o autor, fibras com maior espessura de parede também contribuem para o incremento da resistência ao rasgo e se correlacionam de forma negativa com o número de fibras por grama de polpa e de forma positiva com o coarseness de fibras e volume específico do papel.

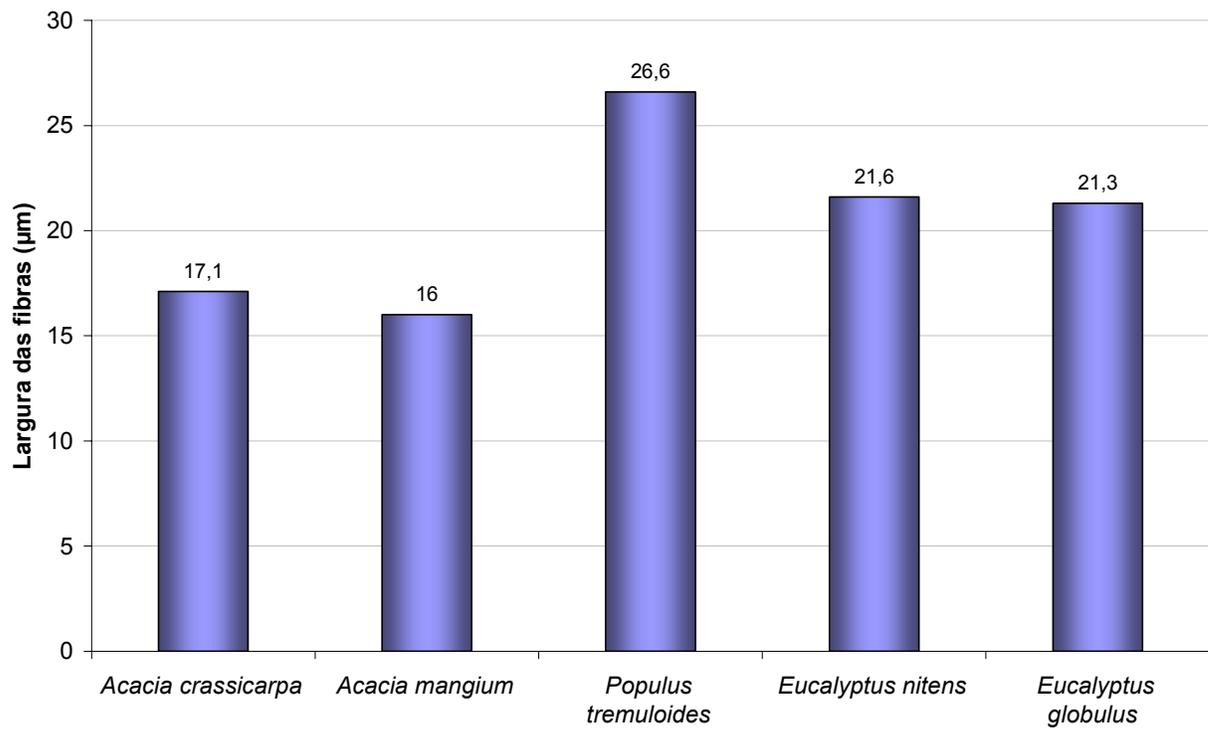


Figura 8 - Largura das fibras (µm)

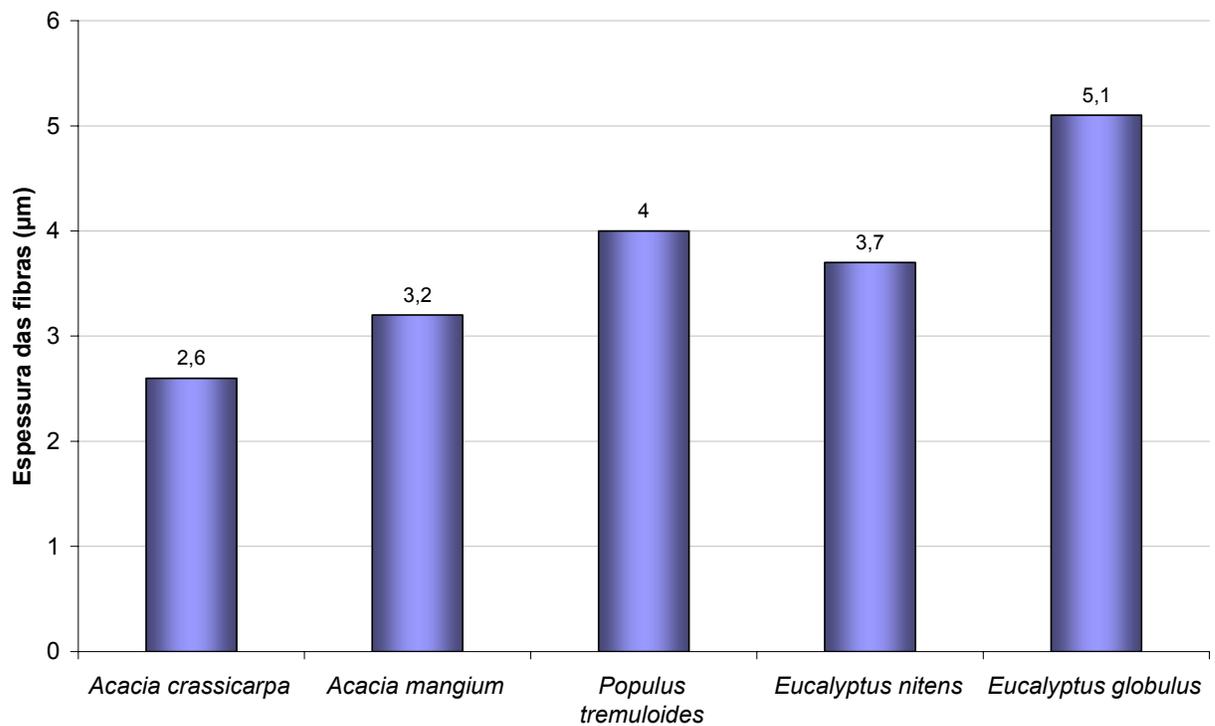


Figura 9 - Espessura das fibras (µm)

Segundo Carpim et al. (1987) fibras com maior espessura de parede proporcionam maior volume específico e maior resistência à passagem de luz através da folha de papel (opacidade).

A resistência da celulose e papel tem uma altíssima relação com a espessura da parede da fibra. Acrescente-se, ainda, o fato de que as fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose do que fibras de paredes finas, existindo, também, uma correlação positiva entre a espessura da parede e o rendimento em produção de celulose (PAULA, 1999).

Segundo Shimoyama (1990) salienta que para matéria-prima de *Eucalyptus* os valores da espessura de parede variam de 2,5 a 6,0 μ m estes valores estão coerentes com os resultados apresentados na tabela 20.

Considerando-se os valores do Índice de Runkel, as matérias-primas analisadas neste estudo são classificadas como muito boas e boas, uma vez que Runkel apud Paula (1999) propôs a seguinte classificação: fibra com índice até 0,25 considerada como excelente para papel; de 0,25 a 0,50 é muito boa; de 0,50 a 1,00 é boa; de 1,00 a 2,00 regular, e acima de 2,00 não deve ser usada para papel.

As espécies de *Acacia crassicarpa* e *Populus tremuloides* apresentaram valores maiores para coeficiente de flexibilidade e maiores valores desse coeficiente caracterizam as fibras mais flexíveis, facilitando as ligações entre as mesmas. O coeficiente de flexibilidade relaciona-se positivamente com a resistência à tração, arrebatamento.

As diferenças destacadas nas dimensões de fibras e suas relações para as espécies estudadas são indicativas de que as polpas celulósicas e papéis obtidos a partir dessas espécies podem apresentar características diferentes nas propriedades físico-mecânicas levando a obtenção de produtos diferenciados.

3 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que existem diferenças químicas, físicas e anatômicas entre as matérias-primas de *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa*, *Populus tremuloides*, *Eucalyptus nitens* e *Eucalyptus globulus*, que influenciam em diferenças significativas no processo de polpação e conseqüentemente no produto final obtido.

- Dentre as espécies de madeira estudadas, as que apresentaram maior densidade básica foram *Eucalyptus globulus* e *Acacia crassicarpa*, com densidade básica de 0,544 g/cm³ e 0,525 g/cm³ respectivamente,
- A espécie *Populus tremuloides* apresentou a menor densidade básica, 0,378 g/cm³, se diferenciando significativamente das demais espécies, a baixa densidade encontrada pode influenciar na diminuição do rendimento no processo de polpação;
- O menor Índice de heterogeneidade da densidade básica da madeira no sentido longitudinal foi obtido para a espécie *Populus tremuloides* sendo este 0,539, que se constitui em um fator favorável para a espécie, apresentando maior homogeneidade na densidade;
- A espécie *Acacia mangium* apresentou o maior índice de heterogeneidade para densidade básica no sentido longitudinal, implicando em maior dificuldade na homogeneidade do processo de polpação;
- O maior teor de extrativos totais foi encontrado na espécie *Populus tremuloides* 6,91%, já a espécie de *Acacia crassicarpa* apresentou o menor teor de extrativos sendo este 4,06%, quantidades elevadas de extrativos implicam em consumo de reagentes, incrustações nos equipamentos e dificuldades no branqueamento;
- *Populus tremuloides* apresentou o menor teor de lignina total com 22,07%, o que pode proporcionar maior facilidade de deslignificação. Porém o maior teor foi obtido para *Acacia crassicarpa* 29,33%;

- Quanto ao teor de holocelulose a espécie *Populus tremuloides* se destacou das demais com 71,02%, já a espécie *Acacia mangium* apresentou o menor teor de holocelulose com 66,55%, maior teor de holocelulose contribui com o rendimento de polpa, visto que este representa a fração de madeira de interesse no processo de polpação;
- O maior comprimento de fibras foi obtido para a espécie *Populus tremuloides* 1,09mm, sendo que o menor encontrado foi 0,88 mm para *Eucalyptus globulus*.
- Quanto ao parâmetro de largura das fibras a espécie *Populus tremuloides* apresentou 26,6 μm , já a espécie *Acacia mangium* teve a menor largura com 16,0 μm ;

Os resultados mostraram que as matérias-primas de estudo deste trabalho demonstraram características diversas e conseqüentemente os produtos finais serão diferenciados.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de polpa celulósica relacionada à precocidade na seleção de um Híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ALMEIDA, F.S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-solids(para madeiras de eucaliptos**. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

ALMEIDA, J.M.; SILVA, D.J. Efeito da qualidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação Kraft de clones de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 34., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABTCP, 2001. p. 1-14.

AMIDON, T.E. Effect of wood properties of hardwood on kraft paper properties. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 64, n. 3, p. 123-126, Mar.1981.

BALATINECZ, J.J.; KRETSCHMANN, D.E. Properties and utilization of poplar wood. In: DICKMANN, D.I.; ISEBRANDS, J.G.; ECKENWALDER, J.E.; RICHARDSON, J. (Ed.). **Poplar culture in North America**. Ottawa: NRC Research Press, 2001. p. 277-291.

BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para indústria de celulose e papel. **Serie Divulgação PRODEPEF**, Brasília, n. 45, p. 1-145, 1976.

BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O.; COUTO, H.T.Z. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 802-808, 1983.

BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-730, 1982.

BERENGUER, B. *Acacia crassicarpa*: On the Road to Domestication. **SYLVANET**, North Carolina, v. 17, issue 1, p. 8-12, spring 2004.

BUSNARDO, C.A.; FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; KAJIYA, S.; ALVES, E.E. Estudos comparativos da qualidade da madeira de algumas espécies de eucaliptos tropicais. CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 11., 1978, São Paulo. **Trabalhos técnicos...** São Paulo: ABCP, 1978. p. 221-232.

CARDOSO, G.V.; FRIZZO, S.M.B.; ROSA, C.A.B.; FOELKEL, C.E.; ASSIS, T.F.; OLIVEIRA, P. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 35., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 2002. p. 1-4.

CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G.; SILVA JUNIOR, C.E.; VASCONCELLOS DIAS, R.L. A influencia do numero de fibras por grama nas propriedades óticas do papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL ABTCP, 20., 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1987. p. 183-205.

CARVALHO, M.G.V.S. **Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas kraft de *Eucalyptus globulus***. 1999. 269 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

CLARK, N.B.; BALODIS, V.; FANG G.; WANG J. Pulping properties of tropical acacias. In: TURNBULL, J. W. (Ed.). **Advances in tropical acacia research**. Sidney: ACIAR, 1991. p. 138-144.

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

FAO. **Síntesis de los informes nacionales de progreso recibidos, elaborados para a 22ª Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, organizada conjuntamente por la FAO y las Comisiones Nacionales del Álamo de Chile e Argentina; Santiago de Chile**. Roma, 2004. 43 p.

FIDEL, M.M.; TAMAYO, J.P. Chemical properties of *Acacia mangium*: Implications for pulp and paper production. **FPRDI Journal**, Philipines, v. 25, n. 1/2, p. 107-114, Jan./Dec. 1999.

FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: Sua verdadeira utilizada como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção d celulose. **O Papel**, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 35-40, maio 1992.

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

FONSECA, F.A. **Produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. e *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula, em diferentes recipientes, utilizando compostos de resíduos urbanos, para a recuperação de áreas degradadas**. 2005. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FRANCIS, R.C.; HANNA, R.B.; SHIN, S.J.; BROWN, A.F.; RIEMENSCHENEIDER, D.E. Papermaking characteristics of three *Populus* clones grown in the north central United States. **Boimass and Bioenergy**, New York, v. 30, p. 803-806, 2006.

GOES, E. **A floresta portuguesa**: sua importância e descrição das espécies de maior interesse. Lisboa: Portucel, 1991. 259 p.

GOMES, D.F.F. **Estudo da qualidade da madeira de clones de “Eucalyptus” cultivados no Brasil; produção de polpa kraft de qualidade**. 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

HERNÁN, C.R. Produccion y evaluación de pulpas celulósicas a partir de diferentes especies de eucalyptus. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. p. 1043-1051.

IGARTÚA, D.; MONTEOLIVA, S.; NUÑEZ, C. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EM CELULOSA E PAPEL, 3., 2004, Cordoba. **Anais...** Madrid: INIA, 2005. p. 69-74.

IGARTUA, D.V.; RIVERA, S.M.; MONTERUBBIANESI, M.G.; MONTEOLIVA, S.E.; FARINA, S.; CARRANZA, S.L.; VILLEGAS M.S. Calidad del leno em *Eucalyptus globulus* ssp. Variacion de la densidad básica y la longitud de fibra em uma estacion del sudeste de la provincia de Buenos Aires. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EM CELULOSA E PAPEL, 1., 2000, Iguazu, Prov.Misiones. **Anais...** Madrid: INIA 2000. p. 2-20.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: Macgraw-Hill, 1940. 533 p.

JOUAREZ, B.; RIBOUX, A.; LECLERCQ, A. Comparision of basic density and longitudinal shrinkage in tension wood and opposite wood in young stems of *Populus euramericana* cv. Ghoj when subjected to a gravitational stimulus. **Canadian Journal of Forest Research**, Vancouver, v. 31, n. 10, p. 1676-1683, Oct.2001.

KEAYS, J.L. Present and future use of Aspen in pulping. **Information Report VP_X**, Vancouver, n. 18, p. 1-17, July 1967.

KIBBLEWHITE, R.P.; JOHNSON, B.I.; SHELBOURNE, J.A. Kraft pulp qualities of *Eucalyptus nitens*, *E. globulus* and *E. maidenii* at ages 8 and 11 years. **New Zealand. New Zealand of Forestry Science**, New Zeland, v. 30, n. 3 p. 447-457, 2000.

LELLES, J.G.; SILVA, F.P.; SILVA, J.C. Caracterização do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Acacia mangium*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 87-92, 1996.

MACHADO, E.B. **Controle de *Condylorrhiza vestigialis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae), a mariposa do álamo, com o uso de *C. vestigialis* multiplenucleopolyhedrovirus em condições de laboratório e campo**. 2006. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

MARIANI, S.A.; TORRES, M.U.; FERNANDEZ A.R.; MORALES, E. Efeito da formação do cerne em *Eucalyptus nitens* na polpação kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 65, n. 6, p. 55-59, jun. 2004.

_____. Variabilidad em sentido radial em *Eucalyptus nitens* y su efecto sobre pulpa kraft. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EM CELULOSA E PAPEL, 3, 2004, Córdoba. **Anais...** Madrid: INIA, 2005. p. 31-35.

MCKINLEY, R.B.; SHELBORNE, C.J.A.; LOW, C.B.; PENELLUM, B.; KIMBERLEY, M.O. Wood properties of young *Eucalyptus nitens*, *E. globulus* and *E. maidenii* in Northland. New Zealand. **New Zealand of Forestry Science**, New Zealand, v. 32, n. 3, p. 334-356, 2002.

MONTEOLIVA, S.; IGARTUA, D. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EM CELULOSA E PAPEL. 2., 2002, Córdoba **Anais...** Madrid: INIA, 2002. p. 1-13.

MORFIENSKI, A.; GOMIDE, J.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. Importância da densidade e o teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. p. 13-38.

OLIVETTI NETO, A. Qualidade de cavacos de eucalipto para obtenção de celulose Kraft. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EN CELULOSA Y PAPER, 3., 2002, Campinas. **Trabalhos...** Campinas: 2002. 1 CD-ROM.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**. New York: Mcgraw Hill, 1980. 105 p.

PASCHOAL NETO, C.; EVTUGUIN, D.; PINTO, P.; SILVESTRE, A.; FREIRE, C. **Química da madeira de *Eucalyptus globulus***: especificidades e impacto nos processos de cozimentos e de branqueamento. Disponível em: <<http://www.tecnicelpa.com>>. Acesso em: 12 dez. 2007.

PAULA, J.E. Caracterização anatômicas de madeiras nativas do cerrado com vistas à produção de madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 26-40, 1999.

PEREDO, M.A.; MORA, C.; RAMIREZ, M. **Efecto del espaciamiento en la densidad básica y aptitud pulpable de la madera de *Eucalyptus nitens***. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/430/4PeredoOral.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2007.

PETRIK, A.W.; BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; MILANEZ, A.F. Produção de celulose kraft a partir de misturas de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mernsii*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 17., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1984. p. 297-324.

PINTO, P.C.; EVTUGUIN, D.V.; NETO, C.P. Chemical composition and structural features of the macromolécula components of plantation *Acacia mangium* wood. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 7856-7862, 2005.

QUEIROZ, S.C.S.; GOMIDE J.L. Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **O Papel**, São Paulo, v. 64, n. 5, p. 79-84. jun. 2003.

RENÉ, C.C.; GONZALES, J.M.; SILVA, R. Caracterización de madera pulpable de *Eucalyptus globulus* Labill. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EM CELULOSA Y PAPEL, 3., 2004, Córdoba **Anais...** Madrid: INIA, 2005. p. 65-68.

RESQUIN, F. **Avaliação de procedências de *Eucalyptus globulus* segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose**. 2002. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RUY, O.F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE da Ilha de Lores, Indonésia**. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2nd ed. Iowa. State College Press, 1951. 228 p.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Variação da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA JÚNIOR, F.G. **Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides*.** 2005. 144 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA JÚNIOR, F.G.; MUNER, J.C.G.; VALLE, C.F. Programa de qualidade da madeira da Votorantim Celulose e Papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 28., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1995. p. 515-529.

SOUZA, V.R.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica da madeira de Eucalipto no sentido longitudinal (Base e Topo). **Informações SQCE**, Piracicaba, v. 17, p. 1-4, 1985.

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

SULEMAN, K.M.; KAUSAR.N. Chemi – thermomechanical pulp from young *Populus deltoides* wood. **FPRD Publications**, Disponível em: <<http://www.sfprd.com/s1.html>>. Acesso em: 19 jul. 2007.

TOMAZELLO FILHO, M. **Variação radial dos constituintes anatômicos e da densidade básica da madeira de oito espécies de Eucalipto.** Piracicaba: ESALQ, LCF, 1983. 102 p.

_____. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *E. saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45. 1985.

_____. variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pelita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 35-42, 1987.

TURNBULL, J.W. Multipurpose Australian trees and shrubs: lesser known species for fuelwood and agroforestry. **ACAIR Monograph**, Canberra, n. 1, p. 128-129, 1986.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; GOMIDE, J.L., TARCISIO, J.L.; MARIN, L.M.; AKIRA, F.M.; FERREIRA, D.G.F. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.P.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Will daos sete anos de idade. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

APÊNDICES

Apêndice A - Método utilizado para determinar Extrativos totais, lignina e holocelulose.

Apêndice B - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Acacia mangium*.

Apêndice C - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Acacia crassicarpa*.

Apêndice D - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Populus tremuloides*.

Apêndice E - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Eucalyptus nitens*.

Apêndice F - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Eucalyptus globulus*.

Apêndice I: Método utilizado para determinar Extrativos totais, lignina e holocelulose.

- 1- Pesar equivalente a 2 g absolutamente seco de serragem e transferir para saquinho de papel filtro.
- 2- Colocar a amostra no corpo do extrator.
- 3- Fazer a extração com álcool-tolueno (1:2) e álcool 96 GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração.
- 4- Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição.
- 5- Transferir toda serragem do saquinho para elermneyer de 250 ml.
- 6- Adicionar 100 ml de água destilada e colocar o elernmeyer em banho-maria (que já deverá estar em ebulição).
- 7- Agitar a cada 15 minutos.
- 8- Após 1 hora filtrar através de cadinho de vidro sintetizado tarado, transferindo toda serragem do elernmyer para o cadinho.
- 9- Lavar de forma descontínua o cadinho com 250 ml de água quente.
- 10- Mantê-lo na estufa até peso constante.
- 11- Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em dessecador e pesar.
- 12- Calcular a porcentagem do “Extrato Total” através da expressão:

$$ET (\%) = \frac{(2 - PSserragem)}{2} * 100$$

- 13- Utilizando a mesma serragem do cadinho pesar 0,3g seca transferi-la para um frasco tipo penicilina.
- 14- Resfriar o H₂SO₄ 72% a 10-25°C.
- 15- Adicionar 3 ml de H₂SO₄ 72% para o frasco e mantê-lo no banho-maria a 30°C, por um período de 1 hora homogeneizando a cada 15 minutos. Após esse período adiciona-se 84 ml de água.
- 16- Colocar as amostras em autoclave a 118°C (27PSI), por o período de 1 hora. Após esse período as amostras foram filtradas em cadinhos de vidro sintetizados com papel de fibra de vidro.
- 17- Lavar o extrato do cadinho com 700 ml de água quente. Colocar o cadinho em estufa até peso constante.

18- Retirar o cadinho da estufa esperar esfriar em dessecador e pesar.

19- Calcular a porcentagem de lignina solúvel através da expressão:

$$\text{Lignina solúvel (\%)} = \frac{[4,53(A_{215nm}) - (A_{280nm})]}{(300 * PS) * 100}$$

21- Calcular a porcentagem de lignina insolúvel através da expressão:

$$\text{Lignina insolúvel (\%)} = \frac{(PS) * 100}{0,3}$$

20- Calcular a porcentagem de holocelulose através da expressão:

$$H (\%) = 100 - (\text{teor de lignina} + \text{teor de extrativos totais})$$

Apêndice B - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Acacia mangium*

Matéria-prima	Altura	Diâmetro com casca	Diâmetro sem casca
Acacia mangium 1	Base	24,51	22,91
	25%	19,24	18,58
	50%	16,30	15,65
	75%	11,38	10,84
	100%	5,57	5,16
Acacia mangium 2	Base	21,75	22,29
	25%	17,85	17,18
	50%	14,59	13,88
	75%	10,79	10,25
	100%	5,78	5,08
Acacia mangium 3	Base	22,03	21,06
	25%	19,08	18,33
	50%	16,91	16,02
	75%	12,98	12,22
	100%	6,07	5,36
Acacia mangium 4	Base	21,75	21,12
	25%	18,43	17,58
	50%	16,18	15,25
	75%	10,07	9,46
	100%	6,09	5,57
Acacia mangium 5	Base	21,12	22,17
	25%	18,76	18,03
	50%	16,73	15,96
	75%	10,48	9,90
	100%	5,60	4,95

Apêndice C - Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Acacia crassicarpa*

Matéria-prima	Altura	Diâmetro com casca	Diâmetro sem casca
Acacia crassicarpa 1	Base	28,30	30,53
	25%	18,17	17,08
	50%	16,20	15,05
	75%	12,39	11,43
	100%	5,64	4,92
Acacia crassicarpa 2	Base	25,25	24,65
	25%	18,41	17,67
	50%	16,68	15,79
	75%	8,42	7,85
	100%	5,45	4,79
Acacia crassicarpa 3	Base	26,7	24,69
	25%	22,53	20,87
	50%	13,48	12,59
	75%	11,14	10,36
	100%	6,22	5,58
Acacia crassicarpa 4	Base	24,72	23,70
	25%	16,21	15,51
	50%	14,58	13,83
	75%	10,69	10,13
	100%	5,50	5,05
Acacia crassicarpa 5	Base	24,45	27,74
	25%	16,53	15,56
	50%	13,75	12,98
	75%	9,48	8,95
	100%	6,47	5,97

Apêndice D- Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Populus tremuloides*

Matéria-prima	Altura	Diâmetro com casca	Diâmetro sem casca
<i>Populus tremuloides 1</i>	Base	28,75	26,6
	25%	23,6	21,9
	50%	21,2	19,6
	75%	16,25	14,7
	100%	10,35	9,05
<i>Populus tremuloides 2</i>	Base	35,45	31,9
	25%	26,45	24,6
	50%	23,9	22,15
	75%	20,9	18,95
	100%	11,75	10,5
<i>Populus tremuloides 3</i>	Base	47,65	43,00
	25%	40,65	37,35
	50%	31,35	28,75
	75%	24,95	22,35
	100%	12,00	10,65
<i>Populus tremuloides 4</i>	Base	51,5	48,15
	25%	38,65	36,4
	50%	31,4	29,25
	75%	22,65	20,9
	100%	10,2	9,2
<i>Populus tremuloides 5</i>	Base	35,8	32,8
	25%	31,9	29,2
	50%	26,55	24,55
	75%	18,6	17,00
	100%	11,3	9,9

Apêndice E- Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Eucalyptus nitens*

Matéria-prima	Altura	Diâmetro com casca	Diâmetro sem casca
<i>Eucalyptus nitens 1</i>	Base	16,95	14,25
	25%	20,25	18,95
	50%	17,45	15,9
	75%	12,00	10,95
	100%	8,15	7,05
<i>Eucalyptus nitens 2</i>	Base	21,55	19,55
	25%	16,45	15,65
	50%	13,45	12,6
	75%	11,12	10,3
	100%	8,1	7,25
<i>Eucalyptus nitens 3</i>	Base	30,8	27,6
	25%	20,4	19,05
	50%	16,5	15,4
	75%	13,25	12,2
	100%	8,00	7,5
<i>Eucalyptus nitens 4</i>	Base	23,85	21,1
	25%	17,1	17,2
	50%	14,55	13,8
	75%	11,4	10,45
	100%	8,4	7,45
<i>Eucalyptus nitens 5</i>	Base	20,2	18,65
	25%	17,1	16,2
	50%	14,2	13,4
	75%	11,9	11,1
	100%	8,7	8,1

Apêndice F- Tabela com a representação dos diâmetros dos discos de madeiras das espécies de *Eucalyptus globulus*

Matéria-prima	Altura	Diâmetro com casca	Diâmetro sem casca
<i>Eucalyptus globulus 1</i>	Base	18,8	17,15
	25%	14,4	13,4
	50%	12,5	11,65
	75%	10,05	9,10
	100%	7,65	7,15
<i>Eucalyptus globulus 2</i>	Base	23,55	20,1
	25%	17,5	15,9
	50%	13,85	12,75
	75%	11,55	10,65
	100%	7,95	7,00
<i>Eucalyptus globulus 3</i>	Base	23,00	21,3
	25%	17,5	16,5
	50%	15,75	14,65
	75%	12,5	11,5
	100%	8,2	7,3
<i>Eucalyptus globulus 4</i>	Base	22,15	20,00
	25%	16,4	15,00
	50%	14,15	13,05
	75%	11,55	10,30
	100%	8,45	7,40
<i>Eucalyptus globulus 5</i>	Base	24,2	21,30
	25%	16,8	15,25
	50%	13,25	12,25
	75%	11,65	10,6
	100%	7,85	7,00

Apêndice G - Análise da variância F para resultados de características químicas das espécies de *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa*, *Populus tremuloides*, *Eucalyptus nites* e *Eucalyptus globulus*

Análise de variância para Extrativos totais.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	24,651224	4	6,162806	6,26	0,0019
Erro	19,677600	20	0,983880		
Total	44,328824	24			

Análise de variância para Lignina Total.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	153,76926	4	38,44231	49,28	< 0,001
Erro	15,601040	20	0,780052		
Total	169.3703040	24			

Análise de variância para holocelulose.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	63,765496	4	15,941374	6,97	0,0011
Erro	45,773004	20			
Total		24			

Apêndice H - Análise da variância F para resultados de diâmetro de fibras das espécies de *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa*, *Populus tremuloides*, *Eucalyptus nites* e *Eucalyptus globulus*

Análise de variância - Comprimento das fibras.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	0,139336	4	0,034834	20,49	< 0,0001
Erro	0,034000	20	0,001700		
Total	0,173336	24			

Análise de variância – Largura da fibra.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	169,87760	4	42,469400	1830,58	<0,0001
Erro	0,4640000	20	0,0232000		
Total	170,34160	24			

Análise de variância – Espessura da fibra.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	15,902400	4	3,975600	397,56	<0,0001
Erro	0,2000000	20	0,010000		
Total	16,102400	24			

Análise de variância – Diâmetro do lúmen.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	189,96160	4	47,49040	11,63	<0,0001
Erro	81,652000	20	4,082600		
Total	271,61360	24			

Análise de variância – Coeficiente de flexibilidade.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	1186,560	4	296,64000	104,45	<0,0001
Erro	56,80000	20	2,84000		
Total	1243,3600	24			

Análise de variância – Índice de Runkel.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma de quadrados</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
Posição	0,817816	4	0,204454	561,69	<0,0001
Erro	0,007280	20	0,000364		
Total	0,825096	24			