

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE

**CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, QUÍMICA E FÍSICO-
MECÂNICA DA MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium
amazonicum*) PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA E POLPA
CELULÓSICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

V651c
2010

Vidaurre, Graziela Baptista, 1979-
Caracterização anatômica, química e físico-mecânica
da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para
produção de energia e polpa celulósica / Graziela Baptista
Vidaurre. – Viçosa, MG, 2010.
xiii, 74f. : il. ; 29cm.

Orientador: Benedito Rocha Vital.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Schizolobium amazonicum*. 2. Paricá - Propriedades
anatômicas. 3. Paricá - Propriedades químicas. 4. Paricá -
Propriedades físicas. 5. Paricá - Propriedades mecânicas.
6. Carvão vegetal. 7. Polpa de madeira - Branqueamento.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

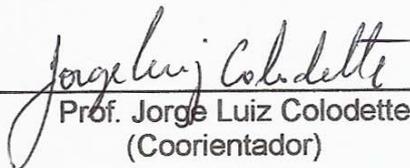
CDO adapt. CDD 634.986117

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE

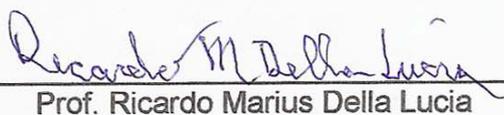
**CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, QUÍMICA E
FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium
amazonicum*) PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA
E POLPA CELULÓSICA**

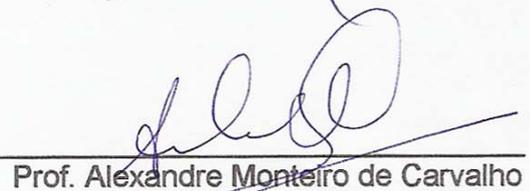
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

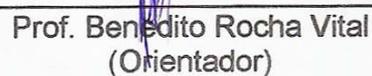
APROVADA: 12 de março de 2010.


Prof. Jorge Luiz Colodette
(Coorientador)


Prof.^a Angélica de Cássia O. Carneiro
(Coorientadora)


Prof. Ricardo Marius Della Lucia


Prof. Alexandre Monteiro de Carvalho


Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver”.

Amyr klink

*À minha mãe, pelo incansável empenho e incentivo na minha formação
profissional.*

Ao Carlos, pelo companheirismo e paciência.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo maravilhoso presente da vida!

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado e doutorado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa durante esses seis anos de treinamento.

Ao DAAD, pela oportunidade do curso de alemão.

Ao Centro de Pesquisa do Paricá, pelo fornecimento do material, nas pessoas dos engenheiros Luciano Zaneti e Alessandro Lechinoski e ao Silvano D’Agnoluzzo e Marco Siviero.

Ao professor Benedito Rocha Vital, pela orientação durante esses seis anos, pelo respeito e pela confiança.

Às professoras e amigas, Cassinha e Ana Márcia, pelos aprendizados, pela disponibilidade e acessibilidade ao longo dos anos, sobretudo pela amizade e pelos momentos “extras” de distração, que fizeram minha passagem por Viçosa muito mais alegre e divertida.

Ao professor José de Castro, pelas conversas sempre enriquecedoras, pela confiança na minha amizade, pelos desabafos e pelo exemplo de força de trabalho.

Ao professor Ricardo Della Lucia, pelas valiosas correções, por me ensinar a “pensar” e acreditar na importância de novas técnicas para o estudo

das propriedades da madeira. Obrigada, ainda, pelo exemplo de “como fazer uma crítica”.

Ao professor Jorge Colodette, por não poupar esforços para que o intercâmbio do doutorado fosse realizado. Obrigada pelos exemplos de competência e “mente aberta”.

Ao pesquisador Dr. Othar Kordsachia, da Universidade de Hamburg, pela hospitalidade e por me ensinar a necessidade das discussões dos resultados em cada etapa do trabalho.

Ao professor Rudolph Patt, pela oportunidade do intercâmbio e pela confiança e ao Dr. Jürgen Odematt, pelos momentos de descontração em sua casa.

Ao professor Alexandre Monteiro (UFRRJ), por participar da banca.

Ao amigo e engenheiro florestal M.Sc. Pedro Gustavo Frederico, pela imensa ajuda nesse trabalho, desde o recebimento do material até os envios dos cavacos para a Alemanha.

Ao Dr. Miguel Pereira (Universidad de Concepcion, Chile), pela imensa ajuda nos cozimentos, pelas discussões e pelas boas risadas.

Ao funcionário Joel Stanciola, por toda a dedicação na confecção dos cortes anatômicos, pelas “lições de vida”, pelos exemplos de educação e perfeccionismo e pela agradável amizade.

Ao Fabiano (cigarrinho), pelos diversos tipos de ajuda, que não foram poucas, durante esses anos.

Aos funcionários da pós-graduação, Ritinha, Alfredo e Alexandre, pelo grande apoio em todos os momentos.

A todos os funcionários do DEF, principalmente ao Francisco Chargas (Padrinho Chiquinho) e Neuzinha, pela agradável amizade, pela disponibilidade em diversos momentos, e principalmente por sempre poder confiar na ajuda.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, Laboratório de Propriedades da Madeira e Laboratório de Celulose e Papel: Aristeu, Maninho, Zé Maria, Sálvio, Fernando, Fumo, Cláudio Bittencourt, Cirinho, Carlinho, Edinho e Maurício.

Aos colegas de pós-graduação e aos companheiros de laboratório: Pedro Gustavo (primo), Vanessa Coelho, Meire dos Santos (UFLA), Carla Távora, Solange Araújo, Zaíra dos Santos, Fábio (Sete), Marco Túlio, Maria

Fernanda Rocha, Ana Flávia Mendes, Juliana Bianche, Wescley Evangelista, Mara Valle, Sady Jr., Ricardo Alves, Renatinho Castro, Roberta Forsani, Lucimara Brasil e Mariana Vilas Boas, pela convivência durante esses anos.

Ao amigo de graduação, José de Sá Rocha (“Sá”), pelas ideologias compartilhadas, fazendo-me sempre acreditar ainda mais em um país melhor, fundamentado no estudo e no esforço. Agradeço ainda a todos os parceiros da Rural, pelo companheirismo durante a graduação e pelo aprendizado do trabalho em equipe.

Aos meus professores de graduação, pelo carinho e pelos primeiros ensinamentos da tecnologia da madeira.

Aos meus queridos pais, pelo incentivo, mesmo distante, pelas imensas ajudas, por compreender em minha ausência, pelas orações e por me ensinar a lutar pelos nossos objetivos de maneira honesta e justa. Aos meus irmãos e sobrinho, pela torcida.

Ao meu marido, pela paciência, pelo companheirismo durante esses anos e pela valiosa ajuda no experimento. Obrigada pelo imenso carinho, principalmente no momento mais difícil de minha vida que passamos juntos em Hamburg. Sem o seu imenso apoio, **o rumo dessa história poderia ser outro.**

MUITO OBRIGADA!
MUCHAS GRACIAS!
VIELEN DANK!

BIOGRAFIA

GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE, filha de Stela Baptista Vidaurre e de Alfredo Junger Vidaurre Neto, nasceu em Duque de Caxias-RJ, em 17 de agosto de 1979.

Em fevereiro de 2004, graduou-se em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Em fevereiro de 2006, concluiu o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, na área de Tecnologia dos Produtos Florestais (madeira serrada de eucalipto).

Em abril de 2006, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em nível de Doutorado, com período sanduíche na Universidade de Hamburg de dezembro de 2007 a abril de 2009, com bolsa do convênio CNPq/DAAD.

Em março de 2010, submeteu-se à defesa da tese, com ênfase em Qualidade da Madeira.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
PROPRIEDADES DA MADEIRA DA ESPÉCIE <i>Schizolobium amazonicum</i> : PARTE 1 – PROPRIEDADES ANATÔMIAS E QUÍMICAS	3
Resumo.....	3
1. Introdução	3
2. Parte experimental	5
3. Resultados	7
3.1. Caracterização das fibras e dos vasos.....	7
3.2. Composição química.....	11
3.3. Correlação de Pearson	12
4. Discussão.....	13
4.1. Caracterização anatômica.....	13
4.2. Composição química.....	15
4.3. Correlação.....	19
5. Literatura citada	19
PROPRIEDADES DA MADEIRA DA ESPÉCIE <i>Schizolobium amazonicum</i> : PARTE 2 – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS..	23
Resumo.....	23
1. Introdução	23

	Página
2. Parte experimental	25
3. Resultados	26
3.1. Propriedades físicas.....	27
3.2. Propriedades mecânicas.....	31
3.3. Correlação de Pearson	34
4. Discussão.....	34
4.1. Propriedades físicas.....	34
4.2. Propriedades mecânicas.....	35
5. Literatura citada	39
PROPRIEDADES ENÉRGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO DE PARICÁ (<i>Schizolobium amazonicum</i>)	42
Resumo.....	42
Abstract.....	42
1. Introdução	43
2. Material e métodos.....	44
3. Resultados	45
3.1. Densidade básica, teor total de lignina e extrativos	45
3.2. Poder calorífico superior	46
3.3. Análise termogravimétrica.....	47
3.4. Propriedade do carvão vegetal	48
4. Discussão.....	49
5. Conclusão	51
6. Referências bibliográficas	52
NSSC PULPING OF <i>Schizolobium amazonicum</i>, <i>Eucalyptus grandis</i> AND THEIR MIX	55
Abstract.....	55
1. Introduction	55
2. Experimental	56
3. Results and discussion	58
3.1. Wood characterization	58
3.2. Pulping	60
3.3. Delignification and carbohydrates degradation	64
3.4. Bleaching	66
4. Bibliography	70
3. CONCLUSÕES GERAIS.....	73

RESUMO

VIDAURRE, Graziela Baptista, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2010. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Coorientadores: Jorge Luiz Colodette e Angélica de Cássia O. Carneiro.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da idade e da posição no tronco (radial e longitudinal) nas propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas na madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá) e na produção de polpa neutral sulphite semichemical pulping (NSSC) em comparação com a madeira de *Eucalyptus grandis*. A madeira de paricá foi proveniente de plantios comerciais localizados na região de Dom Eliseu, Estado do Pará, Brasil. Utilizaram-se quatro árvores para cada idade. Retirou-se um disco da seção transversal da base de cada tora para a análise anatômica e química e a partir da prancha diametral retiraram-se as amostras para determinação das propriedades físico-mecânicas. A polpação foi efetuada em diferentes cargas de sulfito (Na_2SO_3) e diferentes tempos de cozimento. O branqueamento realizou-se na seqüência QPFAS. A variação radial no comprimento das fibras foi mais acentuada do que aqueles encontrados no sentido longitudinal e em função da idade. Os valores médios do comprimento das fibras, largura, diâmetro e espessura da parede foram, respectivamente, 1,07 mm, 33,26, 24,56 e 3,85 μm . A largura do lume foi superior aos valores normalmente

encontrados para a madeira do gênero *Eucalyptus*. Observou-se pouca consistência do efeito da idade na composição química da madeira. Quando comparados com a madeira de eucalipto, o teor de lignina Klason foi alto, porém o teor de lignina solúvel foi baixo (média de 1,90%), a relação S/G e o teor de ácidos urônicos foram baixos (1,07 e 1,0%, respectivamente). O teor de extrativos foi baixo em relação a outras essências nativas, porém dentro da faixa encontrada para a madeira de eucalipto. O teor de carbono foi em média igual a 45% para todas as idades. A madeira de paricá continha elevado teor de umidade depois de colhida. A densidade foi baixa, com tendência de aumento com a idade. A média de densidade para a madeira de 5 anos foi igual a 262 kg/m³ e de 11 anos igual a 303 kg/m³. O fator anisotrópico médio foi 1,95, considerado normal e a contração volumétrica média foi de 9,32%, ambos inferiores ao encontrado para a madeira de eucalipto. Os valores das propriedades mecânicas são considerados baixos (fato esperado devido a sua baixa densidade) em todas as idades, com tendência de aumento com a idade, exceto para a idade de 9 anos. Esse decréscimo na idade de 9 anos também foi observado nos valores de densidade e em alguns parâmetros anatômicos e pode ser explicado em função do plantio ser efetuado com sementes, com ausência de controle dessa variável. As polpas de paricá apresentaram rendimento e alvura inferiores aos das polpas de eucalipto e maior consumo de energia durante do refino dos cavacos. Na condição de 16% de sulfito e 150 min de tempo de cozimento, os rendimentos e as alvuras para a madeira de paricá e eucalipto foram, respectivamente, 75 e 77% e em torno de 70 e 80% ISSO. As resistências dos papéis da madeira de paricá foram ligeiramente inferiores às resistências dos papeis de polpas de eucalipto.

ABSTRACT

VIDAURRE, Graziela Baptista, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Marth 2010. **Anatomic, chemical and physico-mechanical characterization of paricá (*Schizolobium amazonicum*) wood for energy and cellulosic pulp production.** Adviser: Benedito Rocha Vital. Co-advisers: Jorge Luiz Colodette and Angélica de Cássia O. Carneiro.

This work aimed to evaluate the influence of age and position on the trunk (radial and longitudinal) on the anatomic, chemical, physical and mechanical properties of *Schizolobium amazonicum* (paricá) wood and neutral sulphite semi-chemical pulping (NSSC), compared to *Eucalyptus grandis* wood. Paricá wood originated from commercial plantations located in the region of Dom Eliseu, Pará, Brazil. Four trees were used for each age. A disc was removed from the transversal section at the base of each log for anatomical and chemical analysis and samples were taken from the diametric board for determination of the physical-mechanical properties. Pulping was made in different loads of sulphite (Na_2SO_3) and different cooking times. Bleaching was performed in the QPFAS sequence. Radial variance in the length of the fibers was more pronounced than those found longitudinally and in function of age.. The mean values of the length of the fibers, width, diameter and thickness of the wall were, respectively, 1.07 mm, 33, 26, 24, 56 and 3.85 μm . Lumen width was superior to the values normally found for *Eucalyptus* wood. Little consistency was found in the effect of age on the chemical composition of the

wood. When compared with the Eucalyptus wood, Klason lignin content was high, but the content of soluble lignin was low (mean of 1.90%), and the S/G CHECAR SIGLA EM INGLES relation and uronic acid content were low (1.07 and 1.0 %, respectively). The extractive content was low compared to other native essences, but within the range found for eucalyptus wood. Carbon content was on average equal to 45% for all ages. Parica wood contained high humidity content after being harvested. Density was low, tending to increase with age. Density mean for 5-year-old wood was equal to 262 kg/m³ and for 11-year-old wood, equal to 303 kg/m³. The mean anisotropic factor was 1.95, considered normal and the mean volumetric contraction was 9.32%, both below those found for eucalyptus wood. The mechanical property values are considered low (which was expected due to the low density) at all ages, with tendency to increase with age, except for the age of nine. This decrease at the age of nine was also observed in the density values and in some anatomical parameters and can be explained in function of the planting being performed with seeds, without control of this variable. The parica pulps presented lower yield and brightness than the eucalyptus pulps and greater consumption of energy during chip processing. Under the condition of 16% of sulphite and 150 min cooking time, yield and whiteness for parica and eucalyptus woods were, respectively, 75 and 77% and around 70 and 80% ISSO. The resistances of the parica wood papers were slightly lower than those of the eucalyptus wood papers.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As indústrias madeireiras investem em plantios homogêneos ou consorciados de espécies de rápido crescimento. Nas regiões sul e sudeste do Brasil os reflorestamentos são feitos principalmente com plantios do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* para a produção de carvão vegetal, celulose e para a produção de chapas. Na região norte do país, onde a produção de alguns desses produtos ainda é incipiente ou mesmo inexistente, já existem grandes reflorestamentos para a produção de lâminas de compensados.

Atualmente, dentre as espécies que são plantadas na região norte do Brasil, destaca-se a *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke (paricá), da família Caesalpinaceae, que por apresentar rápido desenvolvimento, fuste reto e pouca incidência de nós é bastante cultivada pelas empresas madeireiras com a finalidade de produção de lâminas para a produção de compensado. O fuste reto e a madeira com poucos defeitos aumentam o rendimento de lâminas de qualidade e, em função de sua baixa densidade, não necessita de cozimento para ser laminada. A madeira de paricá possui coloração branco-amarelo-clara, presença de anéis de crescimento distintos e diferença entre cerne e alburno visível. A madeira é facilmente atacada por fungos xilófagos e de fácil processamento.

As características da madeira de paricá apropriadas para indústrias de lâminas e compensados e a possibilidade de produção mais rápida que outras espécies, atraíram à atenção de empresas madeireiras e produtores, fazendo

do paricá, hoje, a espécie nativa mais plantada em alguns estados da Amazônia.

O estudo da qualidade da madeira do paricá permite uma melhor adequação a um determinado uso, ou a sua capacidade para preencher os requisitos necessários à fabricação de um determinado produto possibilitando a geração de produtos diferenciados para fornecimento a clientes específicos.

É escassa a literatura a respeito das propriedades da madeira do paricá e conhecer a sua variabilidade em função da idade e posições no tronco torna-se indispensável para a sua utilização racional, pois conhecendo a qualidade da matéria-prima e o processo a ser utilizado, é possível obter a otimização entre ambos e o produto final.

**PROPRIEDADES DA MADEIRA DA ESPÉCIE *Schizolobium amazonicum*:
PARTE 1 – PROPRIEDADES ANATÔMIAS E QUÍMICAS**

Resumo: o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos da idade da árvore e das posições radial e longitudinal nas características das fibras e vasos e o efeito da idade nos componentes químicos da madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá). O material foi obtido de plantios comerciais na região norte do Brasil. As características anatômicas foram mais afetadas pelas variáveis em estudo do que a composição química, mostrando que os elementos químicos da madeira são mais estáveis com a idade em relação aos elementos anatômico.

Palavras-chave: paricá, madeira, propriedades, anatomia, química.

1. Introdução

A natureza das células lenhosas é dependente da idade real do tecido cambial e zonas distintas de madeira podem ser observadas dentro da árvore. Nas camadas mais próximas da medula, o cerne é formado pela madeira juvenil, com características muito diferentes das camadas mais próximas da casca, que formam a madeira adulta. A variação nas dimensões dos elementos anatômicos do lenho tem um efeito marcante sobre a qualidade da madeira e do produto final (Cown 1974; Oluwafemi 2007).

A flora brasileira é extremamente rica em biodiversidade e apenas um pequeno número de espécies passou por estudos de caracterização e definição de usos. Por outro lado, o mercado nacional e internacional de madeira possui um número muito reduzido de espécies comercialmente aceitas e tal restrição se deve ao pouco conhecimento das características das madeiras (Teixeira 2008).

A espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber) ex Ducke, conhecida por paricá ou pinho-cuiabano, vem sendo cultivada na região norte do Brasil para produção de lâminas para a fabricação de compensado. A espécie se destaca pelo rápido crescimento (com ciclos de corte em torno dos 6-7 anos de idade),

fuste reto, aumentando o rendimento de lâminas de boa qualidade; em função de sua baixa densidade, a madeira não necessita de cozimento para a laminação, reduzindo os custos finais. Essas vantagens motivaram o aumento dos plantios dessa espécie tropical em escala comercial.

Nos países de clima tropical, como o Brasil, os ciclos de corte são muito curtos, devido às condições favoráveis de crescimento e produção de madeira, o que torna o empreendimento florestal mais lucrativo. Inúmeras pesquisas já foram desenvolvidas para as espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* com o intuito de determinar os efeitos da idade e das posições no tronco nas propriedades de sua madeira. Com as espécies nativas da Amazônia, no entanto, essas pesquisas não têm merecido a necessária atenção, a despeito da grande disponibilidade de terra e condições climáticas favoráveis.

Informações anatômicas sobre a dimensão das fibras da madeira do paricá subsidiarão estudos para seu emprego em novos produtos como, por exemplo, polpa celulósica para a fabricação de papel e para MDF (*medium density fiberboard*), dentre outros produtos. Além disso, o processo de colagem de suas lâminas para a produção de compensado pode ser melhorado quando forem conhecidas a variabilidade e a proporção dos elementos de vasos da madeira de paricá, em razão da idade e posição no tronco. Middleton e Canterbury (1989) mencionaram a importância do conhecimento das características dos vasos na madeira para aplicação de produtos preservativos, secagem da madeira, além de aplicação de adesivos.

Para determinar o potencial de novos produtos é necessária a avaliação dos diferentes componentes químicos da madeira, uma vez que seus constituintes estão relacionados com as suas propriedades e, assim, com os seus produtos. As informações contidas nesse trabalho subsidiarão o direcionamento de futuros programas de melhoramento genético e de manejo silvicultural desta espécie amazônica, contribuindo para o aumento e melhoria do uso de sua madeira.

O objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos da idade da árvore e das posições radial e longitudinal ao tronco nas características das fibras e vasos e o efeito da idade nos componentes químicos da madeira de paricá.

2. Parte experimental

O material utilizado neste trabalho foi colhido em plantios comerciais de empresas associadas ao Centro de Pesquisa do Paricá, no município de Dom Eliseu, Estado do Pará, Brasil.

O plantio de 5 anos estava localizado no município de Itinga do Maranhão - MA (Latitude: 04° 40' e longitude: 47° 36'). As árvores com 7 anos de idades foram coletadas na região de Dom Eliseu-PA (Latitude: 04° 12' e longitude: 47° 27') e os plantios de 9 e 11 anos de idade estavam localizados no município de Paragominas-PA (Latitude: 02° 48' e longitude: 47° 25'). Todos os quatro plantios possuíam espaçamento de 4 x 4 m. O clima das regiões é mesotérmico úmido. A temperatura média anual está em torno de 25°C e as médias das mínimas diárias, em cerca de 20°C precipitação entre 2.250 e 2.500 mm. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo de janeiro a junho sua maior concentração (cerca de 80%). A umidade relativa do ar é em torno de 85%. As sementes desses plantios foram oriundas do Estado do Mato Grosso, Brasil.

Selecionaram-se aleatoriamente quatro árvores (consideradas repetições) para cada idade estudada. Depois de colhidas, as árvores foram seccionadas em toras de 2.7 m a partir da base, utilizando as três primeiras toras para este trabalho (tora 1, 2 e 3). Na base de cada tora foram retirados discos de seção transversal, totalizando três discos por árvore e 12 discos por idade para as análises anatômicas e químicas da madeira.

A caracterização anatômica da madeira foi feita ao longo das direções radial e longitudinal ao tronco. De cada disco retiraram-se três amostras, de dimensões 1,0 x 1,0 x 1,0 cm, tomadas de pontos equidistantes, correspondentes a 0, 50 e 100% da seção radial, totalizando 144 amostras para a maceração e cortes transversais para a medição do diâmetro tangencial e frequência dos vasos.

Foram preparados macerados para a caracterização das fibras empregando solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (1:1) (Dadsweel 1972). A mistura foi deixada em estufa, a temperatura de 60°C, por um período de trinta e quatro horas. Foram montadas as lâminas e medidas 30 fibras, individualmente, determinando as características das fibras. A

determinação da espessura da parede celular foi determinada pela metade da diferença entre a largura da fibra e diâmetro do lume. A partir desses parâmetros foram calculados índices utilizados para a análise da fibra para a qualidade do papel. A determinação do índice de Runkel foi obtida da relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lume da fibra e o índice de enfeltramento, pela razão entre o comprimento e a largura da fibra. O coeficiente de flexibilidade foi determinado pela razão entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra e a fração parede pela razão entre a espessura da parede com a largura total da fibra.

Com o auxílio de um micrótomo de deslize, realizaram-se cortes anatômicos da seção transversal (18 μm de espessura) para se medir o diâmetro tangencial e a frequência dos poros. Os cortes anatômicos foram clarificados com solução de hipoclorito de sódio 60% e, em seguida, corados com safranina, na concentração de 1%; posteriormente, montaram-se lâminas permanentes.

Utilizou-se um microscópio ótico com sistema de aquisição de imagens, através de uma câmera acoplada, possibilitando a visualização das fibras e dos vasos diretamente no monitor e posterior captura da imagem, com o auxílio do software Axio-Vision.

Para a caracterização química da madeira de paricá, analisou-se apenas o efeito da idade, desconsiderando-se a variabilidade nas posições radial e longitudinal no tronco. De cada disco de madeira retiraram-se duas cunhas opostas, correspondendo cada uma, aproximadamente, a 1/8 da seção do disco que posteriormente foram reduzidos à serragem utilizando-se o moinho laboratorial Wiley (TAPPI 257 om-92). Para as análises químicas foram utilizadas as serragens retidas nas peneiras de 40/60 mesh (SCAN 40:94).

Inicialmente, obteve-se a madeira livre de extrativos e do extrato remanescente, realizaram-se as demais análises químicas, exceto para as análises do teor de cinzas e composição elementar da madeira. A determinação da composição química elementar foi efetuada com a serragem retida na peneira de 80 mesh, via combustão seca em analisador elementar, modelo Perkin Elmer. A lignina siringila/guaiacila (S/G) foi determinada por HPLC após oxidação da serragem com nitrobenzeno e os carboidratos por cromatografia em gás, após hidrólise ácida.

As normas/metodologias empregadas para a caracterização química foram: cinzas (TAPPI 211 om-93), extrativos em acetona (Solar et al. 1987), extrativos em ciclohexano/etanol (TAPPI 204 om-88), extrativos em água quente (TAPPI 207om-93), lignina Klason (TAPPI 222 om-88), lignina ácida insolúvel (TAPPI Um-250), ácidos urônicos totais (Scott 1979), lignina siringila/guaicila (S/G) (Lin e Dence 1992) e carboidratos (TAPPI 249 om-85).

Para a caracterização anatômica, o experimento foi instalado de acordo com uma análise fatorial completa com três posições radiais (0, 50 e 100%/sentido medula-casca), três posições longitudinais (1, 2 e 3/sentido base-topo) e quatro idades (5, 7, 9 e 11 anos), totalizando 36 tratamentos com quatro repetições. Para a caracterização química, o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com quatro idades e quatro repetições. Os resultados foram interpretados com o auxílio da análise de variância e quando estabelecido diferença entre eles, aplicou-se o teste de Tukey para médias a 5% de significância.

Para avaliar as possíveis correlações existentes entre as propriedades anatômicas e químicas e as variáveis idade, posição radial e posição longitudinais, empregou-se a matriz de correlação de Pearson à 5% de significância.

3. Resultados

3.1. Caracterizações das fibras e dos vasos

Verificou-se o efeito significativo da idade, posição longitudinal e posição radial nos parâmetros dos vasos e das fibras. No entanto, não houve interação significativa entre essas variáveis.

A Figura 1 apresenta o efeito da posição radial, idade e posição longitudinal ao tronco nos parâmetros das fibras. Observaram-se as seguintes tendências para as fibras da madeira do paricá:

a) O comprimento das fibras foi proporcional ao aumento da idade. O valor médio para as quatro idades foi de 1,07 mm. Não se observaram diferenças significativas entre as idades 7 e 9 anos. O comprimento da fibra aumentou na posição radial (de 0% para 100%), mas não apresentou alterações significativas na posição longitudinal ao tronco (sentido base-topo).

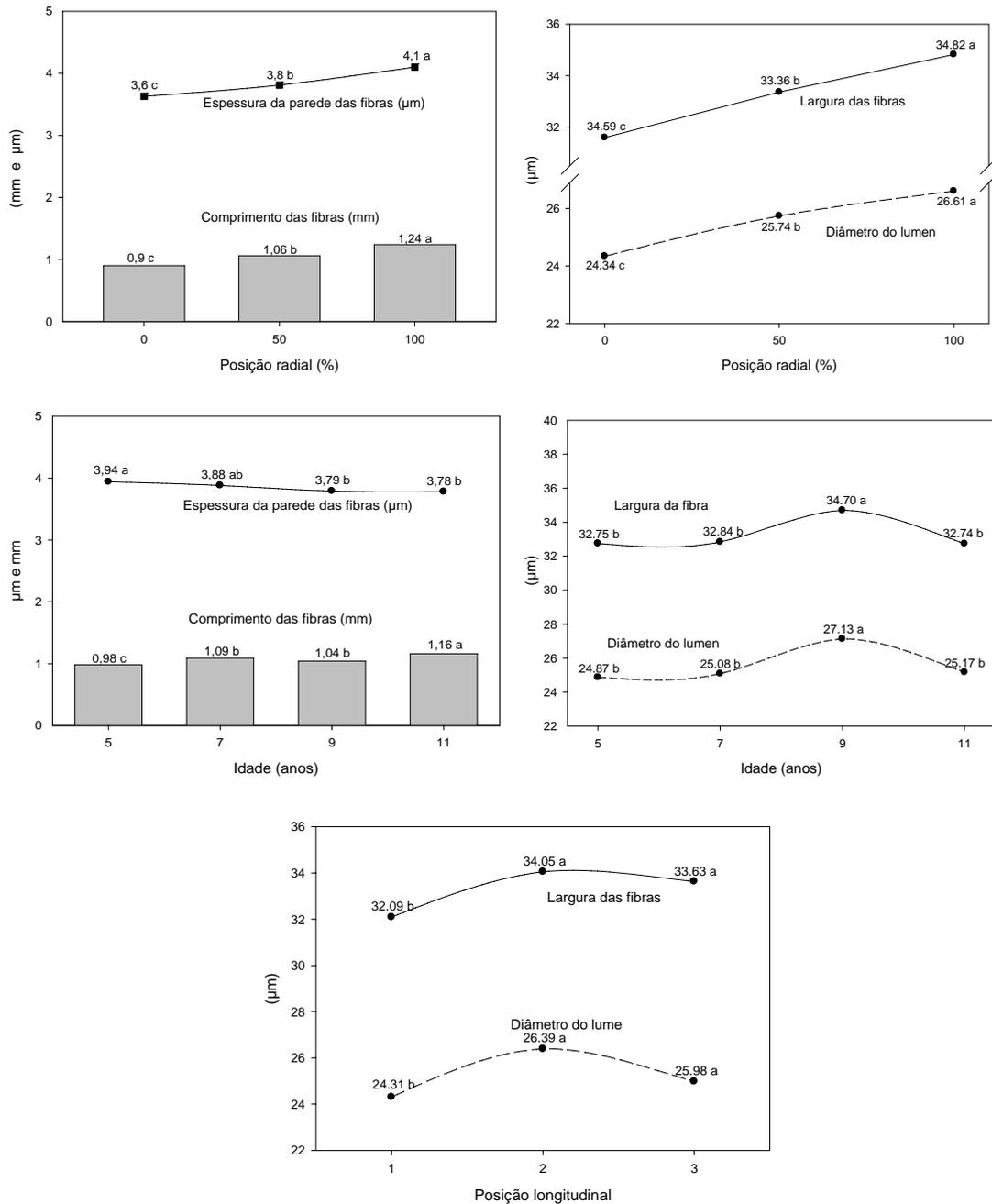


Figura 1 – Efeito da posição radial, da idade e da posição longitudinal no comprimento das fibras, largura e diâmetro do lúmen e espessura da parede das fibras da madeira de paricá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

b) A largura e diâmetro do lume das fibras foram maiores na madeira de 9 anos, embora seus valores médios fossem praticamente idênticos nas madeiras com idades de 5 e 11 anos. Os valores médios para a largura e diâmetro do lume das fibras entre as idades foram 33,2 e 25,56 μm, respectivamente. Observou-se uma tendência de aumento nas duas posições avaliadas.

c) A espessura da parede não diferiu significativamente entre as idades 7, 9 e 11 anos, bem como entre as idades de 5 e 7 anos. A espessura média da parede foi de 3.85 μm . Observou-se um aumento da espessura da parede na posição radial, mas não se observou qualquer variação na posição longitudinal ao tronco.

d) A dimensão das fibras que mais apresentou variação tanto quanto à idade tanto na posição radial foi o comprimento. Na idade de 11 anos, os valores apresentados foram 15.5% superiores à idade de 5 anos e 27% maiores na região próxima à casca.

e) A variação radial (de 0% para 100%) foi mais acentuada do que na variação longitudinal, enquanto que a variação da idade da árvore foi menos acentuada que aquela observada no interior da árvore.

A idade e posição longitudinal afetaram significativamente os quatro índices anatômicos empregados para avaliar a qualidade da matéria-prima para a produção de celulose (Tabela 1). Apenas a posição radial afetou significativamente o índice de enfiamento. No entanto, não houve interação significativa entre as variáveis estudadas e os índices anatômicos.

Tabela 1 – Coeficientes indicativos de qualidade da fibra de paricá para produção de celulose, em função da idade, posição longitudinal e posição radial

Índice	Idade (Anos)				Posição longitudinal (Tora)			Posição radial (%)		
	5	7	9	11	1	2	3	0	50	100
CF	0.75 b [*]	0.76 b	0.78 a	0.76 b	0.75 b	0.77 a	0.77 a	0.76 a	0.76 a	0.77 a
FP	0.12 a	0.11 a	0.10 b	0.11 a	0.12 a	0.11 b	0.11 b	0.11 a	0.11 a	0.11 a
IE	0.02 c	0.03 b	0.03 c	0.03 a	0.033 a	0.031 b	0.031 b	0.035 a	0.028 c	0.031 b
IR	0.24 a	0.23 a	0.21 b	0.23 a	0.24 a	0.22 b	0.22 b	0.23 a	0.23 a	0.22 a

CF = coeficiente de flexibilidade; FP = fração parede; IE= índice de enfiamento; e IR =índice de Runkel. Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha e para um mesmo fator não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Apesar do efeito significativo da idade, não houve uma tendência clara de redução ou aumento nos valores dos índices como ocorreu para a posição longitudinal e radial para o índice de enfiamento. Isso pode ser devido aos valores de densidade (Parte 2) onde a madeira de 7 anos apresentou maior densidade que a madeira de 9 anos, que provavelmente, influenciou nas demais propriedades.

Verificou-se que a idade das árvores não alterou a frequência dos vasos, porém o diâmetro tangencial foi significativamente influenciado pelas diferentes idades (Figura 2). Observaram-se os seguintes resultados para as características dos vasos:

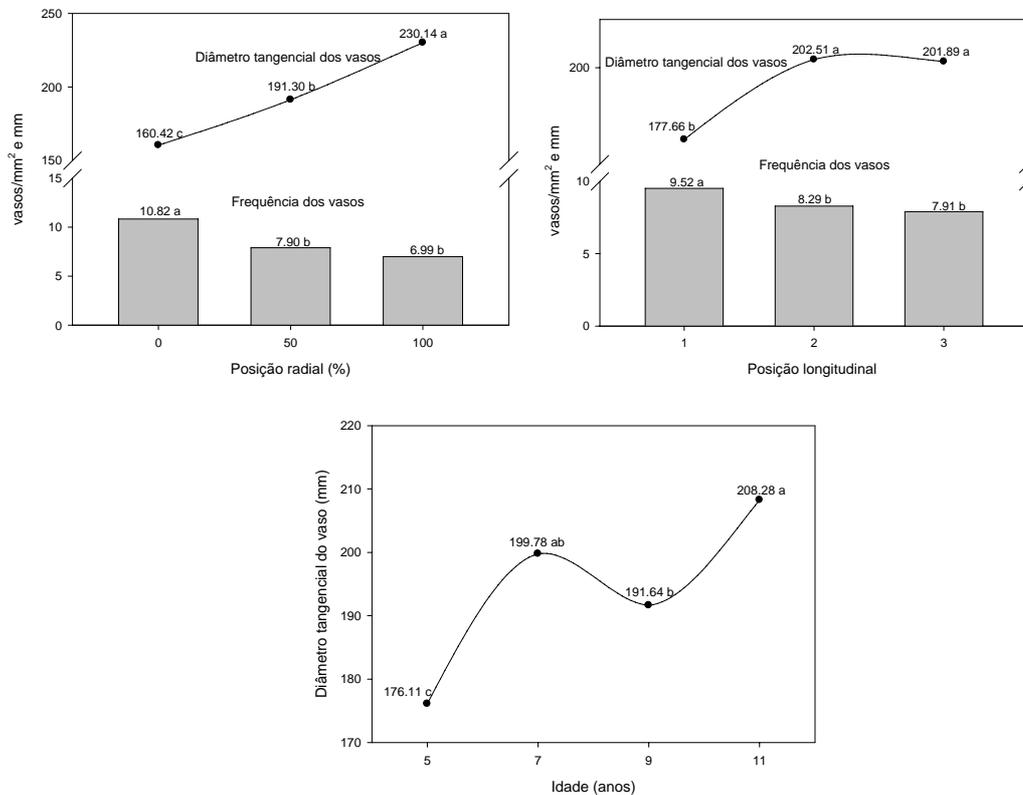


Figura 2 – Efeito da posição radial, da posição longitudinal e da idade na frequência e diâmetro tangencial dos vasos da madeira de paricá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

a) Nas duas posições avaliadas houve diminuição na frequência dos vasos. Na posição radial, a frequência diminuiu de 10.89 para 6.9 vasos/mm², na posição longitudinal, de 9.5 para 7.9 vasos/mm². No geral, a frequência dos vasos apresentou uma redução de 35%, na posição radial e 16%, na posição longitudinal.

b) Ao contrário da frequência, o diâmetro tangencial apresentou aumento para todas as variáveis estudadas, sendo que na posição radial, aumentou de 160.4 para 230.1 mm; enquanto que na posição longitudinal, o aumento foi de 177.6 para 201.8 mm. Observaram-se um aumento de 176.1 (5 anos) para 208.2 mm (11 anos).

c) No geral, o diâmetro dos vasos apresentou um aumento de 30% na posição radial e 12%, na posição longitudinal. A idade de 11 anos apresentou um aumento de 15% no diâmetro tangencial dos vasos quando comparado com a idade de 5 anos.

3.2. Composição química

O efeito da idade na composição química da madeira do paricá encontra-se na Tabela 2. Os valores da composição elementar não foram comparados entre si porque não houve repetição nas determinações.

Os teores de extrativos solúveis em acetona e água quente não foram afetados pela idade das árvores. A idade influenciou apenas a solubilidade em etanol. A madeira nas idades mais jovens (5 e 7 anos), foram mais solúveis em etanol, ao contrário das madeiras com idades de 9 e 11 anos, que apresentaram maior solubilidade em água quente.

A idade da madeira influenciou também o teor de ácidos urônicos, sendo que a idade de 5 anos apresentou o maior valor médio e as idades de 7 e 11 anos não diferiram entre si.

Os teores de glicanas, xilanas, raminanas e 4-O-metil-celulose também não foram afetados pela idade. Os teores de glicana e raminana apresentam tendência positiva com a idade, quanto maior a idade, maiores foram os teores médios desses parâmetros. Os teores médios de xilana e 4-O-metil-celulose não apresentaram esta mesma tendência. O teor de celulose reduziu com a idade, ao passo que o teor de hemicelulose aumentou (Tabela 2).

O teor de cinzas foi maior para a madeira de 5 anos, porém não mostrou tendência de redução com o aumento da idade.

Os teores de lignina solúvel e insolúvel não diferiram entre as idades. O teor de lignina total foi elevado para todas as idades, no entanto, o teor de lignina solúvel presente na madeira para todas as idades é inferior ao teor observado, de modo geral, para a madeira do gênero *Eucalyptus*. A idade influenciou a relação siringila/guaiacila (S/G), no entanto, não mostrou uma tendência clara de aumento com a idade. O maior valor para a relação S/G foi para a idade de 9 anos.

Tabela 2 – Composição química da madeira de paricá em diferentes idades

Componente Químico	(%)	Idade (anos)			
		5	7	9	11
Composição Elementar:					
Carbono		45.39	45.33	45.32	45.65
Hidrogênio		6.78	6.20	6.26	6.60
Nitrogênio		0.12	0.35	0.14	0.24
Oxigênio		47.71	48.12	48.28	47.51
Extrativos em acetona		1.59 a ^(a)	1.78 a	1.60 a	1.72 a
Extrativos em etanol		2.19 b	2.86 a	2.10 b	2.14 b
Solubilidade em água quente		2.15 a	2.11a	2.49 a	1.93 a
Ácidos urônicos		1.10 ab	0.95 b	1.00 ab	0.95 b
Ácido 4-O- metil-glicourônico		0.91 ab	0.89 b	1.05 a	0.94 ab
Glicanas		50.34 b	50.61 b	51.49 a	51.80 a
Xilanas		11.17 a	10.59 b	11.20 a	10.61 b
Galactanas		0.48 a	0.43 a	0.44 a	0.41a
Arabinanas		0.24 a	0.22 a	0.24 a	0.23 a
Mananas		1.05 c	1.18 a	0.87 d	1.07 b
Raminanas		0.27 a	0.26 a	0.25 b	0.24 b
Celulose ^(b)		49.32 b	49.45 b	50.65 a	50.76 a
Hemicelulose ^(c)		15.36 a	14.81 b	14.87 b	14.58 b
Cinzas		0.82 a	0.57 c	0.67 b	0.60 c
Lignina Klason		27.63 a	27.80 a	27.85 a	27.25 a
Lignina insolúvel		2.08 a	1.73 a	1.83 a	1.98 a
Lignina Total		29.71 a	29.53 a	29.68 a	29.23 a
Lignina S/G		1.03 b	1.06 ab	1.13 a	1.06 ab

^(a) Médias seguidas pela mesma letra ao longo da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

^(b) Teor de celulose = glicose - manose (devido a presença das hemiceluloses glicomananas, com relação glicose:manose de 1:1).

^(c) Teor de hemiceluloses = ácidos urônicos + xilose + galactose + arabinose + manose + raminose + glicose (equivalente a manose devido a presença das glicomananas).

3.3. Correlação de Pearson

As correlações significativas entre a idade, propriedades anatômicas e componentes químicos podem ser observadas na Tabela 3. Observou-se correlação negativa entre a idade e espessura da parede. A correlação da idade com as propriedades químicas foi observada em apenas quatro parâmetros. Assim como a idade, a posição longitudinal ao tronco apresentou baixa correlação com as fibras/vasos. Nas situações em que houve correlação entre uma variável anatômica e a posição radial, essa correlação foi sempre negativa.

Tabela 3 – Correlações de Pearson entre a idade e posições no tronco com as fibras, vasos e componentes químicos

	Coeficiente de Correlação de Pearson									
	Fibras				Vasos		Componente químico			
	COMP*	LARG	DIAM	ESPE	DIAM	FREQ	LINS	GLIC	GALA	MANO
Idade	0.31	-	-	- 0.22	0.24	-	0.78	0.96	- 0.72	- 0.96
Posição longitudinal	-	0.24	0.28	-	0.24	- 0.18	-	-	-	-
Posição radial	- 0.43	- 0.23	-	- 0.40	- 0.70	- 0.56	-	-	-	-

* COMP = comprimento; LARG = largura; DIAM = diâmetro; ESPE = espessura da parede, FREQ = frequência; LINS = lignina insolúvel; GLIC = glicose, GALA = galactose e MANO = manose.

4. Discussão

4.1. Caracterização anatômica

De modo geral, as dimensões das fibras e dos vasos apresentaram variações em relação à idade, sentido radial e sentido longitudinal.

As variações no sentido radial foram mais expressivas que as observadas nas diferentes idades e sentido longitudinal. Todos os parâmetros anatômicos das fibras e dos vasos mostraram-se correlacionados com o sentido radial. Horacek et al. (1999), citado por Moya Roque (2005), mostraram que no xilema primário da zona cambial as divisões celulares são menos frequentes com a idade da árvore, permitindo que as fibras tenham mais tempo para seu alongamento longitudinal e transversal. De modo geral, a idade das árvores foi à variável que menos influenciou nos parâmetros anatômicos da madeira.

No que se refere às dimensões das fibras, apenas a largura e o diâmetro do lume na posição longitudinal ao tronco foram significativas. Tanto a frequência quanto o diâmetro tangencial dos vasos foram afetados significativamente pelo sentido longitudinal. Wilkes (1988) relatou que a variação do tamanho e forma dos elementos celulares é aparentemente menos consistente no sentido longitudinal do que no sentido radial do caule. Urbinati et al. (2003), Rocha et al. (2004) e Quilhó et al. (2006) também encontraram pouca consistência nas variações no sentido longitudinal dos elementos anatômicos em espécies de rápido crescimento de zonas tropicais. O

comprimento das fibras e o diâmetro dos vasos da madeira do paricá aumentaram com a idade da árvore. A espessura da parede diminuiu nas árvores mais velhas, tendência contrária à relatada pela literatura. Os demais parâmetros não mostraram a mesma consistência. Valores médios encontrados para o comprimento de fibras estão em conformidade com os normalmente encontrados na madeira juvenil de eucalipto plantado no Brasil (Silva 2002; Souza Júnior 2004; Quilhó et al. 2006; Evangelista 2007) e com o comprimento das fibras encontrado por Sahri et al. (1993) para a madeira juvenil de *Acacia mangium* plantada na Malásia, e ligeiramente menor, quando comparado à *Gmelina arborea* plantada na Costa Rica (Maya Roque e Tomazelo Filho 2009) e *Tectona grandis*, na Índia (Bhat et al. 2001).

A madeira de paricá possui valores médios de largura da fibra e diâmetro do lume intermediário comparada aos encontrados na madeira do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* plantados no Brasil e similares às espécies *Schizolobium parayba* e *Ceiba pentandra*, espécies brasileiras utilizadas comercialmente, com densidade básica próxima à obtida para a madeira de paricá (Manieri e Chimelo 1989).

Shimoyama (1990) citou vários pesquisadores que encontraram relações positivas entre a densidade e a espessura da parede das fibras. Silva (2002) comentou que o diâmetro do lume está relacionado com a largura das fibras e espessura da parede. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando menor densidade. A espessura da parede da madeira do paricá não se mostrou correlacionada com a largura e diâmetro do lume e nem com a densidade básica da madeira (parte 2), mostrando a necessidade de mais pesquisas com as variações das dimensões da fibra de madeiras de espécies tropicais.

De acordo com o IAWA Committee (1989), a frequência dos vasos da madeira de paricá é classificada como “pouca” as variáveis analisadas e as dimensões das fibras são consideradas como *médias* para todas as idades.

A frequência dos vasos apresentou uma redução de maior intensidade no sentido radial, da região de 0% para a região de 50%, fato também observado por Dunish et al. (2004) para a espécie *Ilex paraguariensis*, plantada no sul do Brasil.

Preston et al. (2006) mencionaram que a densidade da madeira e as características dos vasos estão interrelacionadas. Em uma comparação entre 51 espécies de angiospermas norte-americanas, os autores verificaram que a frequência e o diâmetro dos vasos mostraram-se negativamente correlacionados com a densidade da madeira.

Para todas as idades, o coeficiente de flexibilidade foi superior ao normalmente encontrado para a madeira de eucalipto e a fração parede foi inferior (Trugilho et al. 2005; Ferrreira et al. 2006; Florsheim et al. 2009). Ferreira et al. (2006) mencionaram que valores menores de fração parede e maior coeficiente de flexibilidade podem apresentar maior achatamento durante a formação do papel, o que é desejável para a produção de papel de imprimir e escrever e indesejável para a confecção de papel ‘tissue’. A idade de 5 anos apresentou essa melhor relação.

Valores acima de 0.40 para a fração parede não produzem celulose de boa qualidade porque as fibras são extremamente rígidas e pouco flexíveis (Foekel e Barrichelo 1975). Para todas as situações analisadas para a madeira de paricá, a fração parede mostrou-se muito inferior ao valor sugerido pelos autores e o índice de Runkel, para todas as variáveis, é considerado *excelente* para papel (menor que 0.25) (Runkel, *apud* Paula 1999).

As variações observadas na posição radial foram mais destacadas que as observadas entre as diferentes idades e posições longitudinais para as fibras e os vasos para a madeira de paricá.

4.2. Composição química

O teor de carbono presente na madeira de paricá foi inferior ao encontrado para o eucalipto plantado no Brasil e não apresentou redução com o aumento da idade da árvore, conforme observaram Gomide e Colodette (2007), para a madeira de eucalipto plantada para celulose. Em projetos florestais de avaliação da estimativa do estoque de carbono recomendado pelo IPCC (2003), utiliza-se um fator 0,5 que considera que a percentagem de carbono na madeira seja, em média, de 50%. Em projetos de créditos de carbono com essa espécie, a utilização deste valor recomendado estaria superestimando a quantidade de carbono presente na madeira. Recomenda-

se, a princípio, um fator de 0,45 para a madeira de paricá em projetos onde a idade das árvores esteja compreendida entre 7 e 11 anos.

A acetona e a mistura tolueno:etanol foram os solventes mais eficientes para a determinação do teor de extrativos totais (Silverio et al. 2006). A solubilidade em água quente extrai da madeira substâncias como gomas, taninos, açúcares, corantes e amido, e para a madeira de paricá estudada, não houve variação das quantidades dessas substâncias com a idade da árvore.

A baixa presença de extrativos pode ser explicada pela pouca idade do material avaliado, pois mesmo as árvores de 11 anos são consideradas ainda jovens e com um cerne ainda pouco impregnado por esses materiais. Conforme amplamente documentado pela literatura, o teor de extrativos da madeira de árvores mais jovens tende a apresentar valores mais reduzidos que os encontrados para madeiras mais maduras em função da maior quantidade de madeira juvenil (Pisuttipichhed 2004; Trugilho et al. 1996; Guler et al. 2007).

A durabilidade da madeira é atribuída à presença de extrativos de poder fungicida e inseticida em sua composição que não é favorável para a polpação da madeira (Chafe 1987). A elevada incidência de fungos na madeira de paricá recém-abatida pode ser justificada pela baixa presença de extrativos e também, provavelmente, pela quantidade de células parenquimáticas, que não foram objetivos desse trabalho.

O baixo teor de extrativos comparado com outras espécies tropicais reduz, a princípio, a probabilidade de interferência no processo de polimerização adesivo na colagem de lâminas. Neste trabalho, não foram identificados os extrativos presentes na madeira do paricá, apenas o seu percentual total; apesar de poder existir algum elemento presente nos extrativos, que mesmo em pequenas concentrações, possam interferir no processo de colagem das lâminas. Portanto, são importantes os estudos qualitativos de certos componentes extraíveis para um maior avanço no estudo da qualidade da madeira dessa espécie tropical.

O teor de glicanas aumentou com o aumento da idade e conseqüentemente, o teor de celulose na madeira seguiu a mesma tendência de aumento. Madeiras de maior idade apresentam fibras com maior teor de celulose devido ao espessamento da parede celular. Para os monômeros que constituem as hemiceluloses não foram verificadas grandes variações. No

geral, o teor de hemiceluloses diminuiu com a idade, o que pode ser explicado pela maior deposição de cadeias de celulose percentualmente em relação as cadeias de hemiceluloses. O teor de hemiceluloses na madeira de paricá foi menor comparado ao da madeira de eucalipto (Mokifienski 2004). Isso é uma característica positiva, pois o rendimento no processo de polpação está correlacionado positivamente com o teor de glicanas na madeira (Ferreira et al. 2006).

A fração de carboidratos da madeira, principalmente com relação ao teor de celulose, é muito similar a de alguns clones de eucalipto utilizados na indústria de celulose e papel (Mokifienski 2004).

As madeiras de folhosas, normalmente, podem apresentar três tipos diferentes de ácidos urônicos, o ácido 4-O-metilglicourônico, ácido D-galactourônico e ácido D-glicourônico. Entretanto, pelos valores obtidos para madeira em estudo, praticamente todo ácido urônico encontrado é de um único tipo, o ácido 4-O-meil-glicourônico.

Seguindo a mesma tendência das hemiceluloses, por se tratarem de ramificações laterais das cadeias hemicelulósicas, o teor de ácidos urônicos também diminuiu com o aumento da idade das árvores. Uma característica interessante dessa é o baixo teor de ácido urônico em relação a madeira de eucalipto. Essa característica é vantajosa para a produção de polpa celulósica em virtude do menor consumo de reagentes no cozimento.

Diversos trabalhos afirmaram que o teor de lignina tende a diminuir com o avançar da idade (Bendtsen 1978; Passialis e Kiriazakos 2004; Yeh et al. 2006; Guler 2007). Não se observou esta tendência para a madeira de paricá até a idade de 11 anos. O teor de lignina total na madeira de paricá é alto em relação a outras madeiras de folhosas de clima temperado como beech, birch e poplar, assemelhando-se com os teores de lignina presentes nas madeiras de coníferas. No entanto, folhosas que crescem em climas tropicais tendem a produzir normalmente altas concentrações de lignina como é o caso da madeira de eucalipto plantado no Brasil, que possui teores médios de lignina compreendidos entre 25 – 30% (Gomide e Colodette 2007; Frederico 2009). A celulose produzida a partir da madeira do paricá, provavelmente, consumirá maiores quantidades de licóres de cozimento e reagentes de branqueamento. Isto, por sua vez, normalmente resultará em menores rendimentos em pasta

celulósica depurada, maior dificuldade de branqueamento da polpa, maiores quantidades de sólidos orgânicos no licor negro residual e maiores custos de produção.

O valor médio para a lignina solúvel presente na madeira de paricá para as quatro idades avaliadas foi de 1,89%, valor abaixo da média encontrada para a madeira de clones de *Eucalyptus* sp. plantados no Brasil (3,5 – 5.0%) para a produção de polpa celulósica (Mokifienski 2004).

A relação entre as estruturas S/G mostrou que, na madeira de paricá, a frequência das estruturas siringilas foi ligeiramente superior à encontrada nas estruturas guaicila. Relações mais altas são desejáveis para a polpação, pois as estruturas siringilas são mais fáceis de serem degradadas pelos reagentes do cozimento, necessitando de menos reagentes para se alcançar o mesmo número kappa final resultando, assim, em menor perda de rendimento (Mokifienski 2004; Colodette 2006).

Por outro lado, o teor de cinza é relativamente alto, sendo negativo para a maioria dos processos químicos de conversão da madeira. A grande quantidade de minerais na madeira de paricá é reflexo do seu rápido crescimento associado ainda as características do local de crescimento e seu corte em idade jovem. O teor de cinzas foi maior para a madeira de 5 anos, porém não mostrou tendência de redução com o aumento da idade.

Para o emprego da madeira de paricá para a produção de polpa celulósica recomenda-se, a princípio, estudos da influência da relação S/G na polpação e o desenvolvimento de programas de melhoramento genético com o intuito de reduzir o teor de lignina total, e o teor de extrativos e aumentar o conteúdo de lignina solúvel.

De modo geral, não foi observada tendência clara nos valores conforme se aumentou a idade para alguns parâmetros químicos. A idade apresentou-se pouco correlacionada com as propriedades químicas, porém quando houve correlação, essa foi mais forte que a encontrada para características anatômicas. Observou-se, ainda, maior efeito da idade nos parâmetros anatômicos que nos parâmetros químicos da madeira de paricá.

4.3. Correlação

Silva (2002) e Teixeira (2008), estudando, respectivamente, a madeira de eucalipto e angico-vermelho, não encontraram correlação entre as características anatômicas com a posição ao longo do tronco. Essa variável apresentou-se correlacionada com o diâmetro e espessura das fibras e com as características dos vasos.

Das características anatômicas, os parâmetros dos vasos na posição radial mostraram maior correlação que as demais características avaliadas. Apesar de poucos componentes químicos apresentaram correlação com a idade, essas correlações foram as maiores observadas nesse estudo.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Propriedades da Madeira, ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira e ao Laboratório de Celulose e Papel (Universidade Federal de Viçosa) e ao Laboratório de Química da Madeira da Universidade de Hamburg (Alemanha) nas pessoas do Dr. Othar Kordosachia e Prof. Dr. Rudolph Patt pelas análises dos carboidratos e lignina.

5. Literatura citada

Bendtsen BA (1978) Properties of wood from improved and intensively managed trees. For. Prod. J 28:61-71.

Bhat KM, Priya PB, Rugmini P (2001). Characterization of juvenile wood in teak. Wood Science and Technology 34:517-532.

Chafe S C (1987) Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Wood and Science and Technology 21:27-41.

Colodette J (2006) The importance of increasing *Eucalyptus* Syringyl/ Guaiacyl ratio (S/G) on overall pulp mill economic. Campinas: ArboGen Ltda.

Cown DJ (1974) Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. J For. Science 19: 84-94.

Dadswell H E (1972) The anatomy of eucalypt wood. Melbourne, For. Prod. J, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

Dunisch O, Reissmann CA, Oliszeski (2004) Variability of vessel characteristics in the xylem of *Ilex paraguariensis* (Maté-tree) from south Brazil. IAWA J. 25: 449-458.

Evangelista WV (2007) Caracterização da Madeira de clones de *E. camaldulensis* Dehnh. and of *E. urophylla* S. T. Blake, oriundas de consórcio agrossilvipastoril. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Ferreira CR, Fantini Junior M, Colodette JL, Gomide JL, Carvalho AMML (2006) Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1- qualidade da madeira para a produção de celulose Kraft. Scientia Forestalis 70: 161-170.

Florsheim SMB, Couto HTZ, Lima IL, Longui EL (2009) Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. Rev. Inst. Flor. 21:79-91.

Folkel CE, Barrichelo LEG (1975) Tecnologia de celulose e papel. Piracicaba, USP, 207p.

Frederico PGU (2009) Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Gomide JL, Colodette JL. (2007) Qualidade da madeira. In: Borén A. Biotecnologia Florestal. Viçosa, 25-54p.

Guler C, Copu, Y, Akgul M, Buyuksari U (2007) Some chemical, physical and mechanical proprieties of juvenile wood from Black pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. Journal of Applied Sciences 7: 755-758.

IAWA Committee (1989) IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. IAWA Bulletin New Series10: 217-332.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2003) Good Practice Guidance for Land use, Land-use Change and Forest. http://www.ipccnggip.iges.org.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html. Accessed 10 February 2010.

Lin SY, Dence CW (1992) Methods in lignin chemistry. Berlin: Springer-Verlag, 578p.

Manieri C, Chimelo JP (1989) Fichas características das madeiras brasileiras. 2 ed. IPT 399p.

Middleton TM, Canterbury C (1989) Modification of the latex paint infusion technique for the determination of vessel-length in hardwoods. *Wood Sci. Technol* 23:299-302.

Mokfienski A (2004) Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Moya Roque R, Tomazello Filho M (2009) Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. *Sci. For.* 37: 273-285.

Oluwafemi OA (2007) Wood properties and selection for rotation length in Carribean Pine (*Pinus caribaea* Morelet) grown in Afaka, Nigeria. *J. Agric. Environ. Sci.* 2: 359-363.

Passialis C, Kiriazakos A (2004) Juvenile and mature Wood properties of naturally-grown fir trees. *Holtzforchung* 62:476-478.

Paula JE (1999) Caracterização de madeiras nativas do cerrado com vistas à produção de energia. *Rev. Cerne* 5: 26-40.

Preston KA, Cornwell WK, DeNoyer JL (2006) Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. *New Phytology* 170: 807-818.

Pisuttipiched S (2004) Effect of tree age on Wood properties of *Eucaliptus camaldulensis* in Thailand. *Thai J. Forest* 23: 152-160.

Quilhó T, Miranda I, Pereira H (2006) Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis Eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA J.* 27: 243–254.

Rocha FT, Florsheim SMB, Couto HTZ (2004) Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. *Rev. Inst. Flor.* 16: 43-55.

Sahri MH, Ibrahim FH, Shukor NAA (1993) Anatomy of *Acacia mangium* grown in Malaysia. *IAWA J.*14: 245-251.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE. Testing committee. Stockholm, 1989 (SCAN 38;96).

Scott RW (1979) Colometric determination of hexuronic acids in plant materials. *Analytical Chemistry*, n.7, p.936-941, 1979.

Shimoyama VRS (1990) Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp. Dissertation, São Paulo University.

Silva JC (2002) Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Solar R, Kacik F, Melcer I (1987) Simple semi-micro method for the determination of O-acetyl groups in wood and related materials. Nordic Pulp and Paper Research Journal, Stockholm 4: 139-141.

Sousa Junior WP (2004) Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG). Dissertation, Federal University of Viçosa.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. Tappi standart methods. Atlanta: TAPPI, 1993.

Teixeira, BMR (2008) Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da madeirande angico-vermelho (*Anadenanthera peregrine* (L.) Speg. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Trugilho PF, Lima JT, Mendes LM (1996). Influência da idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. R.Cerne 2: 97-111.

Trugilho PF, Bianchi ML, Gomide JL, Lima JT, Mendes LM, Mori FA, Gomes DFF (2005) Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. Ciência Florestal 15:145-155.

Urbinati C, Azevedo AA, Silva EAM, Lisboa PLB (2003) Wood structural quantitative variation of the *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. Acta. Bot. bras., 17: 421-437.

Wilkes J (1988) Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bull: 9: 13 -23.

Yeh T, Braun JL, G Ldfarb, B., Chang H, Kadla JF (2006) Morfological and chemical variations between juvenile wood, mature wood and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Holzforchung 60:1-8.

PROPRIEDADES DA MADEIRA DA ESPÉCIE *Schizolobium amazonicum*: PARTE 2 – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Resumo: O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e estimar as forças que provocam rachaduras nas tábuas diametrais da espécie *Schizolobium amazonicum* (paricá). As árvores foram coletadas em plantios comerciais localizados no norte do Brasil. A umidade natural das árvores foi elevada e a densidade básica baixa para todas as idades e posições. O fator anisotrópico médio foi de 1,95. As resistências mecânicas foram, de maneira geral, baixa, assim como sua densidade. A idade influenciou a maioria das propriedades mecânicas, sendo que a tora da base apresentou os maiores valores de resistência. As forças residuais encontradas nas tábuas radiais foram suficientes para ocasionar rachaduras. Há a necessidade de estudos da madeira oriunda de diferentes tipos de manejo florestal com o intuito de incrementar a densidade da madeira e redução nas tensões de crescimento para que a espécie possa ganhar novos mercados.

Palavras-chave: paricá, madeira, propriedades, físicas, mecânicas

1. Introdução

No passado, a maior parte da madeira provinha de árvores adultas de florestas naturais. Atualmente, com o decréscimo constante deste tipo de suprimento, tornou-se comum a produção de madeira em ciclos curtos pela adoção de espécies de rápido crescimento. Mudanças nas práticas do manejo silvicultural nas plantações, originadas pelas pressões crescentes na demanda de madeira fez com que crescesse o interesse dos pesquisadores com relação às características da madeira de idades jovens e suas influências nas propriedades da madeira (Lara Palma e Ballarin 2003). O lenho juvenil influencia o processo de transformação da madeira comercializada, acarretando problemas na qualidade dos produtos obtidos (Brown e McWilliams 1990).

A madeira juvenil caracteriza-se por apresentar maior ângulo das microfibrilas na camada S₂, maior conteúdo de lignina, maior contração longitudinal, maior quantidade de madeira de reação, maiores desvios na grã e

menores valores de densidade básica e de espessura da parede celular, menor conteúdo de celulose e menores resistências e rigidez (Bendtsen 1978; Senft et al., 1985; Passilis e Kiriazakos 2004; Yeh et al. 2006; Guler et al. 2007). As propriedades da madeira juvenil em coníferas são mais estudadas quando comparadas com as características tecnológicas da madeira juvenil de madeiras tropicais. Artigos recentes abordam as características tipo de madeira também em folhosas e despertam para a necessidade de maiores conhecimentos a respeito das propriedades deste material e suas consequências nos produtos gerados a partir deste tipo de madeira (Bhat et al. 2001; Silva 2002; Lara Palma e Ballarin 2003; Gatto et al. 2008).

No Brasil, as espécies nativas são pouco cultivadas de forma comercial, sendo predominantes as florestas plantadas com espécies exóticas como o eucalipto e o pinus. Até poucas décadas atrás não havia reflorestamento na região amazônica. No entanto, o crescimento da demanda mundial por madeira implica na busca de novas espécies de rápido crescimento com potencial silvicultural e, neste cenário, as espécies nativas, de modo geral, são vantajosas quanto à adaptabilidade.

A espécie nativa da Amazônia *Schizolobium amazonicum* (paricá) é cultivada no país com fins industriais desde a década de 1990, por seu rápido crescimento e seu fuste cilíndrico, facilitando a fabricação de compensado. A idade média de corte é de apenas 7 anos, com alto rendimento na laminação (em torno de 80%) em razão da pequena quantidade de defeitos presentes na madeira (Vidaurre et al. 2006). Aliado a essas vantagens naturais da espécie, o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para a laminação do paricá despertou o interesse por plantios em larga escala. Existem 80.177 hectares de paricá plantados no Brasil (ABRAF 2009), com plantios concentrados nos estados do Pará e Maranhão.

Apesar do aumento da área plantada, estudos das propriedades da madeira do paricá são incomuns, principalmente para diferentes idades e posições no tronco. O conhecimento das suas propriedades é importante para avaliar o potencial da madeira para diferentes usos e conseqüentemente aumentar a utilização da espécie.

Além de conhecer as características da sua madeira, a avaliação das forças necessárias que ocasionam rachadura nas tábuas diamétrais é

primordial para a eficiência do emprego da madeira de paricá como produto sólido. Este trabalho descreve a interferência da idade, da posição radial e da posição longitudinal nas propriedades físicas da madeira do paricá, a interferência da idade e da posição longitudinal das propriedades mecânica e faz uma estimativa das forcas que ocasionam rachaduras nas tábuas diametraes em função da idade.

2. Parte experimental

O material utilizado neste trabalho foi obtido de plantios comerciais de quatro diferentes idades (5, 7, 9 e 11 anos) de empresas associadas ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP) (Descrição do local de plantio - vide Parte 1).

Foram selecionadas aleatoriamente quatro árvores por idade com diâmetro médio do povoamento, de tal maneira que os indivíduos selecionados representassem o povoamento. As árvores foram colhidas e seccionadas em toras de 2.7 m, obtendo-se quatro toras de cada árvore, compondo a variação longitudinal (1, 2, 3 e 4), sendo que para a determinação das propriedades mecânicas, utilizaram-se apenas as três primeiras toras.

De cada tora retirou-se uma prancha diametral com cerca de 8 cm de espessura e largura correspondente ao diâmetro da tora. Posteriormente, procedeu-se a retirada dos corpos-de-prova para a realização dos ensaios seguindo a norma ABNT NBR 7190:1997.

Foram determinados os teores de umidade natural da madeira, densidade básica (base seca) e contrações tangenciais, radiais e longitudinais em função da idade, posição longitudinal e posição radial.

Determinou-se também a flexão estática (resistência, tensão no limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade), resistência à compressão, resistência à tração paralela às fibras, resistência à tração perpendicular às fibras, resistência ao cisalhamento, resistência ao fendilhamento e dureza Janka nos três planos de corte. Os ensaios foram realizados com a madeira verde e em equilíbrio com o ambiente (em torno de 13.3%). Os ensaios foram realizados numa máquina universal de ensaios com capacidade máxima de 100 MN.

A força que ocasionou as rachaduras longitudinais foi estimada empregando-se o valor médio do módulo de elasticidade. Mediram-se as flechas das tábuas diametrais que continham rachaduras ao longo da medula, além do comprimento, largura dessas rachaduras e também a espessura da tábua. Para a obtenção da flecha utilizou-se uma linha fina ligando as duas extremidades da tábua.

Os resultados foram interpretados com o auxílio da análise de variância e, quando verificadas diferenças entre eles, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância. Para as propriedades físicas foram consideradas a idade, posição radial (região próximo à medula e próxima à casca) e posição longitudinal ao tronco (toras 1, 2, 3 e 4). Para as propriedades mecânicas considerou a idade e a posição longitudinal (tora 1, 2 e 3). Para a estimativa das forças que causaram as rachaduras das tábuas considerou-se apenas o efeito da idade das árvores. A correlação de Pearson foi empregada para medir o grau de correlação entre as variáveis físicas e mecânicas.

3. Resultados

3.1. Propriedades físicas

Não se observou variação significativa do teor de umidade natural da madeira em função da posição radial. Contudo, a diferença foi significativa ao longo da árvore. A porção basal apresentou menor teor de umidade em relação às demais posições, não havendo diferença significativa entre a 2^a, 3^a e 4^a tora (Figura 1).

De modo geral, houve um decréscimo do teor de umidade natural com o aumento da idade, sendo que entre as idades de 7 e 9 anos e de 7 e 11 anos não houve diferença estatística.

A análise de variância indicou interações significativas entre a umidade natural da madeira ao longo da posição radial e longitudinal (Tabela 1). Quando as médias foram desdobradas, observou-se o menor teor de umidade na região próxima da casca, na primeira tora da árvore, sendo que diferiu significativamente das demais.

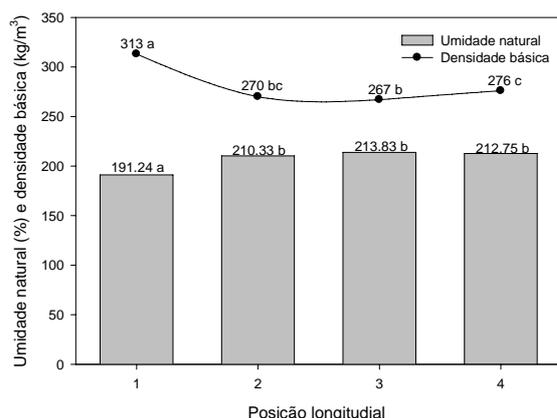


Figura 1 – Variação da umidade natural e da densidade básica em função da posição longitudinal da madeira de paricá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 1 – Variação do teor de umidade natural na posição longitudinal e idade da árvore em relação à posição radial da madeira de paricá

Umidade natural (%)		
Posição longitudinal	Posição radial	
	Região próxima da medula (%)	Região próxima da casca (%)
1	203.5* Aa	178.9 Bb
2	204.6 Aa	216.0 Aa
3	212.3 Aa	215.2 Aa
4	214.6 Aa	210.8 Aa
Idade (anos)		
5	249.1 Aa	225.8 Ab
7	189.4 Ba	205.8 Aa
9	209.1 Ba	206.2 Aa
11	187.4 Ba	183.1 Ba

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo da mesma coluna ou pela mesma letra minúscula ao longo da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando-se o efeito da idade no teor de umidade na região próxima da medula, observou-se que a madeira na idade de 5 anos diferiu significativamente das demais idades tendo o maior teor de umidade. Na região próxima da casca, o menor teor de umidade foi verificado na madeira de 11 anos, o qual diferiu das demais. Observou-se redução na umidade com o aumento da idade, exceto na idade de 9 anos.

Não houve efeito da posição radial na densidade básica, sendo que a madeira próxima da medula apresentou densidade básica média de 260 kg/m³ e próxima da casca, 300 kg/m³. Na posição longitudinal, observou-se um maior

valor da densidade na base do tronco e não ocorreu diferença estatística para as demais posições longitudinais (Figura 1) e um aumento significativo da densidade básica com o aumento da idade, exceto na idade de 9 anos (Figura 2).

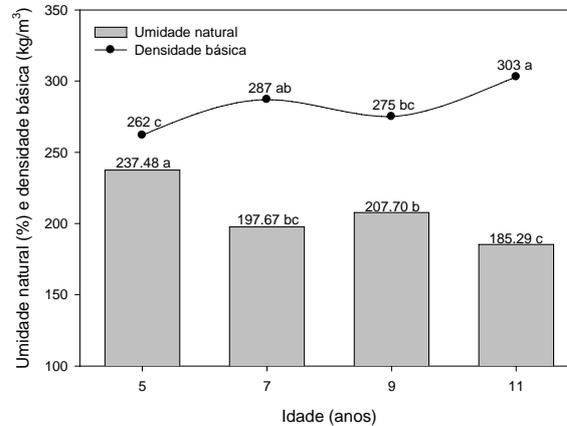


Figura 2 – Variação da umidade natural e da densidade básica pela densidade da madeira de paricá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

No sentido longitudinal verificou-se diferença significativa somente para a tora da base (tora 1) na idade de 5 anos, conforme pode ser observado na Figura 3. As densidades das toras da base foram superiores às demais, exceto para a idade de 5 anos.

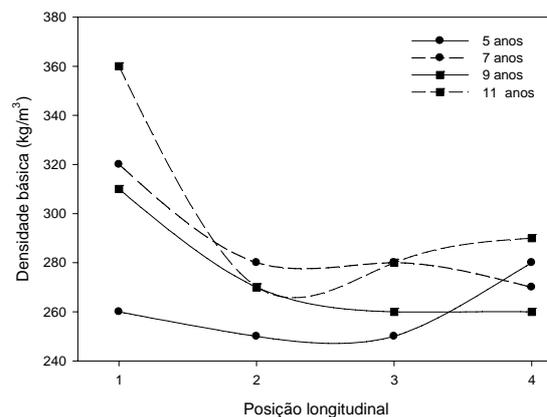


Figura 3 – Variação da densidade básica em relação à posição ao longo do tronco da madeira de paricá.

Os valores médios de contração longitudinal, radial e tangencial para as quatro idades foram, respectivamente, 0.40, 3.05 e 5.23%. Os valores de contrações médias das idades estudadas obtidas para a região próxima à

Tabela 2 – Variação da densidade básica em relação à idade e à posição longitudinal da madeira de paricá

Idade (anos)	Densidade básica (kg/m ³)			
	Posição longitudinal			
	1	2	3	4
5	260 Ba*	250 Aa	250 Aa	280 Aa
7	320 Aa	280 Ab	280 Ab	270 Ab
9	310 Aa	270 Ab	260 Ab	260 Ab
11	360 Aa	270 Ab	280 Ab	290 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo da mesma coluna ou pela mesma letra minúscula ao longo da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

medula e à casca estão sumarizados na Figura 4 (A). A idade afetou a contração longitudinal da madeira, onde as madeiras de 9 e 11 anos foram mais estáveis (Figura 4 (B)). Houve interação significativa entre a posição radial e a posição longitudinal para a contração longitudinal e tangencial (Tabela 3).

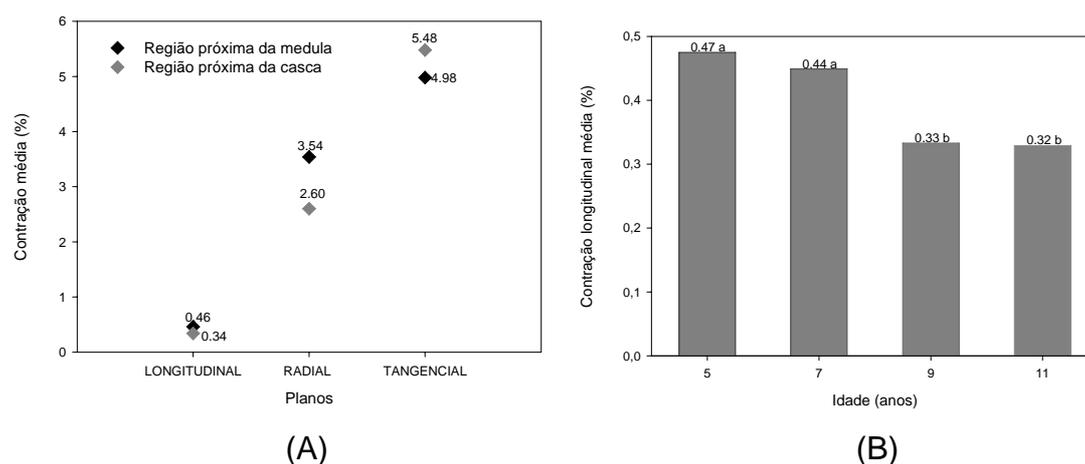


Figura 4 – Contração média nas idades de 5 a 11 anos em relação às diferentes planos de corte (A) e contração longitudinal média por idade (B) da madeira de paricá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As contrações longitudinais na região próxima da medula foram maiores nas partes inferiores do tronco, sendo as duas primeiras toras diferentes estatisticamente das demais. No entanto, não foi verificada a influência da altura do tronco nos valores de contração tangencial. Não houve influencia da posição longitudinal nas contrações longitudinais na região próxima da casca. Porém, as contrações tangenciais nessa região foram afetadas pela posição longitudinal. Observou-se se maior contração na 4^a tora, sendo esta diferente estatisticamente das demais toras.

Tabela 3 – Contração longitudinal e tangencial média em relação à posição radial e posição longitudinal da madeira de paricá

Contração (%)			
Sentido	Posição longitudinal	Posição radial	
		Região próxima da medula (%)	Região próxima da casca (%)
Longitudinal	1	0.61 Aa*	0.31 Ab
	2	0.48 Aa	0.30 Ab
	3	0.34 Ba	0.30 Aa
	4	0.40 Ba	0.44 Aa
Tangencial	1	4.69 Ab	5.77 Aa
	2	4.99 Ab	5.67 Aa
	3	5.13 Aa	5.39 Aa
	4	5.12 Aa	5.07 Bb

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo da mesma coluna ou pela mesma letra minúscula ao longo da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Houve influência do sentido radial nas contrações longitudinais para as toras 1 e 2, sendo que os maiores valores de contração ocorreram na madeira próxima da medula. Nas contrações tangenciais, não houve diferença significativa apenas na tora 3. No sentido tangencial, em geral, as madeiras com maior estabilidade dimensional foram aquelas retiradas próximo da região da medula.

O coeficiente anisotrópico (T/R) foi afetado apenas pela posição da madeira na posição radial, sendo igual a 1.47, para a região próxima da medula e 2.22, para a região próxima da casca. A idade das árvores não afetou significativamente, sendo o valor médio para as quatro idades de 1.95.

Também não houve efeito significativo da posição longitudinal e da idade na contração volumétrica, sendo a média igual a 9.32%. Houve, no entanto, diferença significativa na contração volumétrica entre madeiras retiradas das regiões próximas da medula ou da casca (Tabela 4). A maior contração volumétrica ocorreu na região próxima da medula.

Tabela 4 – Contração volumétrica média em relação às regiões próxima da medula e da casca da madeira de paricá

Posição radial	Contração volumétrica (%)
Região próxima da medula	9.6 a
Região próxima da casca	9.1 b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3.2. Propriedades mecânicas

Não se observou interação significativa entre a idade e posição no tronco para todas as propriedades (Tabela 5). Verificou-se que na medida em que aumentou a idade, houve um aumento-se também a resistência mecânica da madeira de paricá, exceto para a idade de 9 anos que apresentou uma menor densidade básica e, conseqüentemente, menor resistência em algumas propriedades. Apesar da proximidade do local de crescimento das árvores amostradas, provavelmente ocorreu algum fator externo não controlado que ocasionou a redução desses valores de densidade. Esta falta de seqüência no aumento da densidade na idade de 9 anos pode ter sido ocasionado em razão dos plantios de paricá que deram origem ao material de estudos dessa pesquisa serem oriundos de sementes e não de plantios clonais, como a maioria dos plantios de eucalipto no Brasil.

A idade da árvore não influenciou a tensão no limite de proporcionalidade (verde), a tração perpendicular (seco ao ar), a dureza Janka radial (verde), a dureza Janka tangencial (verde e seco ao ar) e a dureza Janka transversal (verde). Observou-se que a variável dureza Janka, de modo geral, foi menos influenciada pela idade da árvore que as demais propriedades (Tabela 5).

Das 22 propriedades mecânicas estudadas, a posição longitudinal ao tronco afetou significativamente apenas em 4 propriedades, tendo sempre o maior valor médio na base da tora (tora 1) (Tabela 6). A resistência ao cisalhamento nas toras 2 e 3 não diferiram entre si e a resistência à dureza Janka na tora 2, apesar de ser significativamente igual à tora 3, apresentou menor valor médio, não evidenciado como nas demais propriedades a redução das propriedades à medida que aumenta a altura da árvore. A redução da resistência no sentido base-topo, ou seja, da tora 1 à tora 3, ocorreu da seguinte maneira, em ordem decrescente: resistência à tração paralela (verde) = 29.8%; resistência à dureza Janka radial (verde) = 20.9%; resistência ao fendilhamento (verde) = 20.5 % e resistência ao cisalhamento (seco ao ar) = 16.7%.

Considerando uma média geral das propriedades mecânicas das quatro idades, os aumentos das resistências das amostras secas ao ar em relação às amostras úmidas, em ordem decrescente, foram: limite de proporcionalidade = 31.1%; resistência à compressão paralela às fibras = 22.9%; resistência à

Tabela 5 – Propriedades mecânicas em quatro idades e dois teores de umidade e com respectivos coeficientes de variação da madeira de paricá

Propriedades	Madeira verde					Madeira seca ao ar				
	Idade (Anos)					Idade (Anos)				
	5	7	9	11	Média	5	7	9	11	Média
Resistência à flexão estática (MPa)	29.8 B [*] (15.1)**	36.8 A (19.1)	30.1 B (17.1)	36.6 A (11.65)	33.3 (16.45)	37.6 C (14.24)	46 AB (14.69)	40.4 BC (15.94)	47.6 A (10.78)	42.9 (13.02)
Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	4 585 C (16.57)	5 617 A (18.09)	4 740 BC (10.2)	5 551 AB (12.2)	5 123 (15.06)	5 107 B (13.1)	6 332 A (10.53)	5 422 B (6.48)	6 383 A (9.68)	5 811 (9.51)
Tensão no limite de proporcionalidade (MPa)	16.5 A (14.30)	20.1 A (23.02)	16.9 A (18.65)	19.5 A (14.02)	18.2 (17.93)	25.2 AB (19.54)	27.8 AB (15.98)	23.9 B (23.86)	29 A (11.95)	26.5 (17.49)
Compressão paralela (MPa)	14.3 B (14.4)	17.6 AB (20.47)	14.9 B (25.87)	19.1 A (15.89)	16.5 (19.17)	20.5 B (13.59)	23.6 AB (18.07)	20.6 B (12.05)	26.2 A (10.14)	22.7 (14.24)
Tração paralela (MPa)	56.3 B (17.59)	71.8 AB (20.88)	59 BC (25.28)	77.2 A (14.87)	66 (18.37)	62.6 AB (29.45)	82.3 A (25.43)	62 (19.37)	73.3 AB (18.09)	72 (23.14)
Tração perpendicular (MPa)	1.6 AB (23.62)	1.8 AB (25.56)	1.2 B (19.77)	2 A (36.63)	1.7 (30.6)	1.9 A (19.66)	2.1 A (16.59)	1.8 A (16.92)	2.2 A (29.75)	2 (20.01)
Cisalhamento (MPa)	4.3 B (9.12)	5.2 B (15.75)	4.8 B (24.04)	7.1 A (21.14)	5.3 (18.98)	4.8 B (18.92)	5.6 AB (20.11)	4.9 AB (15.87)	5.9 A (20.48)	5.3 (15.87)
Fendilhamento (MPa)	2.9 B (10.99)	3.6 AB (15.89)	3.2 B (15.95)	4 A (29.56)	3.4 (20.5)	3.2 AB (10.45)	3.5 AB (26.64)	3.1 B (19.11)	3.9 A (23.61)	3.4 (20.7)
Dureza Janka radial (N)	1 117 A (34.63)	1 345 A (46.36)	1 000 A (46.42)	1 301 A (23.36)	1 191 (37.23)	906 B (23.91)	1 387 A (31.88)	1 123 AB (23.98)	1 373 A (19.55)	1197 (26.1)
Dureza Janka tangencial (N)	1 346 A (26.60)	1 644 A (40.01)	1 337 A (29.01)	1 538 A (13.97)	1 466.8 (29.54)	1 591 A (26.80)	1 861 A (49.16)	1 353 A (20.92)	1 759 A (19.29)	1 641 (35.59)
Dureza Janka transversal (N)	1 575 A (25.42)	1 944 A (38.64)	1 674 A (21.03)	1 774 A (11.29)	1 742 (28.04)	1 964 AB (23.61)	2 281 A (12.85)	1 822 B (13.51)	2 199 AB (16.34)	2 067 (18.95)

* Letras diferentes na mesma linha e no mesmo teor de umidade indicam valores médios estaticamente diferentes pelo teste Tukey. ** Coeficiente de variação.

Tabela 6 – Efeito da posição longitudinal nas propriedades mecânicas da madeira de paricá

Propriedades	Posição longitudinal		
	1	2	3
Tração paralela (verde) (MPa)	78.8 [*] A (25.17)**	61.9 AB (19.18)	55.3 B (21.52)
Cisalhamento (seco ao ar) (MPa)	6.0 A (19.97)	5.0 B (14.48)	5.0 B (20.53)
Fendilhamento (verde) (MPa)	3.9 A (28.19)	3.3 B (17.15)	3.1 B (19.01)
Dureza Janka radial (verde) (N)	1 480 A (44.24)	1 060 B (32.48)	1 170 AB (25.39)

* Letras diferentes na mesma linha indicam valores médios estaticamente diferentes pelo teste Tukey.

** Coeficiente de variação.

Considerando uma média geral das propriedades das quatro idades estudadas, a superioridade nos valores das amostras secas ao ar em ordem crescente foi: limite de proporcionalidade = 31,1%; resistência à compressão paralela às fibras = 22,9%; resistência à tração perpendicular = 22,8%; resistência à flexão estática = 22,4%; resistência à dureza Janka transversal = 19,1%; módulo de elasticidade = 11,8%; dureza Janka tangencial = 11,1% e resistência à tração paralela = 10,0%. A resistência média ao cisalhamento, ao fendilhamento e a dureza Janka radial apresentaram os mesmos valores médios para ambos os estados de umidade, ou seja, o conteúdo de umidade da madeira não afetou as propriedades mecânicas quando se considerou os valores médios gerais por idades.

A porcentagem de aumento nas propriedades mecânicas da idade de 5 anos para a idade de 11 anos não foi igual para todas elas e difere também quanto ao teor de umidade da madeira (Tabela 7). O aumento da idade da árvore de 5 para 11 anos resultou em maiores ganhos nas propriedades, principalmente, nas amostras úmidas. O maior aumento das propriedades em função da idade para as amostras seca ao ar foi para a dureza Janka no sentido radial, seguida da tração paralela e resistência a flexão.

A idade não afetou a magnitude da força estimada que ocasionou as fendas longitudinais nas tábuas, sendo que a média foi de 5 492, 2 648, 5 394 e 3 040 Newton, respectivamente para as idades de 5, 7, 9 e 11 anos de idade.

Tabela 7 – Superioridade da resistência mecânica da madeira com idade de 11 anos em relação à de 5 anos para a madeira de paricá (verde e seca ao ar)

Propriedades	% de acréscimo na resistência aos 11 anos sobre a resistência aos 5 anos	
	Madeira verde	Madeira seca ao ar
Resistência à flexão estática	18.6	12.4
Módulo de elasticidade	17.4	12.1
Tensão no limite de proporcionalidade	15.4	4.9
Compressão paralela	25.1	9.7
Tração paralela	27.1	13.1
Tração perpendicular	20.0	5.0
Cisalhamento	39.4	9.4
Fendilhamento	27.5	5.9
Dureza Janka radial	14.6	24.3
Dureza Janka tangencial	12.5	3.0
Dureza Janka transversal	11.2	5.0

3.3. Correlação de Pearson

A Tabela 8 apresenta a correlação entre a densidade básica e as propriedades mecânicas (verde e seco ao ar), para os parâmetros onde ocorreram correlações a 5% de probabilidade. Nas demais propriedades mecânicas, não houve correlação com a densidade básica da madeira.

Tabela 8 – Correlação entre a densidade básica e as propriedades mecânicas da madeira de paricá (verde e seca ao ar)

	Madeira verde				Madeira seca ao ar				
	TLP*	TP	Cis	Fend	Flex	MOE	TP	TPerp	DJR
Densidade básica	0.29	0.44	0.41	0.43	0.33	0.33	0.51	0.39	0.39

* TLP= tração no limite de proporcionalidade; TP = tração paralela às fibras; TPerp = tração perpendicular às fibras CIS = cisalhamento; FEND = fendilhamento; FLEX = flexão estática; MOE = módulo de elasticidade e DJR = dureza Janka radial.

4. Discussão

4.1. Propriedades físicas

O teor de umidade natural da madeira foi elevada em todas as idades (média geral de 207%), quando comparado a outras espécies tropicais citadas

por Simpson e Tenwolde 1999, acarretando maiores custos de transporte e favorecendo o aparecimento de manchas, ao apodrecimento e ao ataque de certos insetos xilófagos.

A tora da base apresentou o menor conteúdo de umidade em razão, provavelmente, do maior conteúdo de madeira adulta presente na base da árvore e, assim, maior espessura de parede celular e teor de extrativos. O teor de umidade das árvores com 11 anos de idade foi cerca de 22% inferior ao das árvores de 5 anos, devido principalmente a densidade. As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de umidade médio pretendido.

De acordo com a tabela sugerida por Farmer (1972), a madeira de paricá nas idades de 5, 7 e 9 anos é classificada como *excepcionalmente leve*; aos 11 anos é considerada *leve*. Entretanto, de 5 para 11 anos, o incremento da densidade foi de 13.5%.

Butterfield et al. (1993) encontraram pequena variação da densidade na posição radial da espécie *Vochysia guatemalensis*, espécie tropical, também pioneira, de densidade similar à madeira de paricá plantada na Costa Rica. Para a madeira de paricá, não houve diferença estatística nos valores médios de densidade básica na direção radial, no entanto, novas pesquisas devem ser realizadas com o intuito de avaliar a densidade ao longo de todo o sentido radial (como a densitometria por Raio x), uma vez que nesse estudo avaliaram-se apenas as regiões próximas da medula e da casca.

Na posição longitudinal ao tronco houve redução da densidade básica da madeira de até 11.8% para as idades avaliadas. Essa redução foi mais intensa entre as toras 1 e 2. A literatura apresenta diversos padrões de variação da densidade no sentido base-topo, não existindo um modelo definido. Alzarte et al. (2005) encontraram diferentes padrões de variação nos valores de densidade básica no sentido base-topo para duas espécies de eucalipto e um híbrido. Os autores observaram a redução da densidade de 0 a 25% da altura da árvore e depois aumento, redução da densidade conforme aumentou-se a altura da árvore e também um aumento da densidade nas toras do ápice da

árvore. Oliveira et al. (2005a) mencionaram a existência de redução da densidade no sentido longitudinal para seis das sete espécies de eucaliptos avaliadas e Quilhó et al. (2006) encontraram uma redução e posterior aumento da densidade da madeira do híbrido *E. urograndis* (clones e sementes) plantados no Brasil para a produção de celulose.

A balsa (no comércio internacional *Ochroma lagopus*; no Brasil, *O. pyramidalae*) é um tipo de madeira tropical muito leve e amplamente conhecida por seu emprego como isolante térmico, como miolo de sanduíches de chapas, coletes salva-vidas e na fabricação de brinquedos e tem sido bem descrita no que diz respeito às propriedades de sua madeira. De acordo com Farmer (1972), a densidade da madeira da balsa comercial seca varia de 80 a 250 kg/m³. Espécies como a balsa mostram que existe espaço para produtos no mercado de madeira tropical de baixa densidade.

A madeira de paricá é amplamente empregada na indústria de compensado, porém sua densidade encontra-se abaixo da média de densidade recomendada para a indústria de celulose. São necessárias pesquisas em melhoramento e manejo florestal com o intuito de aumentar a densidade de sua madeira e assim ampliar a utilização dessa madeira.

Guler et al. (2007) afirmaram que o parâmetro mais importante que afeta a contração da madeira é a densidade básica, onde madeiras adultas possuem maior densidade e, portanto, maiores contrações. No entanto, a madeira juvenil é caracterizada por sua maior contração no sentido longitudinal (Bendtsen 1978; Ramay e Briggs 1986; Macalister e Clark 1991). De acordo com Ying et al. (1994), a maior contração no sentido longitudinal é explicada pelo maior ângulo das microfibrilas na camada S₂ presente em madeira mais jovens. A contração longitudinal percentual é, quase sempre, pequena em madeiras adultas. Este fato foi comprovado na madeira do paricá, que na idade de 5 anos apresentou uma contração longitudinal 30% superior à de 11 anos, que também pode ser considerada elevada, apesar de apresentar menor valor em relação às demais idades. A região próxima da casca apresentou menor contração longitudinal média, no entanto, no sentido tangencial, a menor variação foi encontrada na região próxima à medula. Os valores de contração longitudinal da madeira do paricá foram superiores aos encontrados por Silva (2002) para a madeira de *E. grandis* plantados no Brasil nas idades de 10 a 25 anos.

De maneira geral, madeiras com baixo valor da relação T/R, isto é, com valores próximos a 1, são consideradas estáveis. O fator anisotrópico (T/R) médio das quatro idades foi de 1,95, considerado normal, segundo a classificação de Durlo e Marchiori (1992), e inferior ao normalmente encontrado para a madeira de eucalipto plantado no Brasil em idades próximas às avaliadas neste estudo. Este fato contribui para a viabilidade do uso da madeira do paricá como produto sólido, onde não seja requerido esforço elevado em virtude de sua baixa resistência mecânica como, por exemplo, molduras, rodapés, palito de fósforo, pequenos objetos, dentre outros

A variação volumétrica da madeira do paricá foi inferior à encontrada por autores que estudaram a madeira juvenil de eucalipto em idades jovens plantadas no Brasil (Silva e Oliveira 2003; Silva 2006). No sentido radial, a maior contração foi próxima a medula.

A lignina exerce um efeito controlador da contração ou expansão em razão de sua natureza hidrofóbica. Madeiras de folhosas contraem mais que as madeiras de coníferas, de densidade similar, devido ao menor conteúdo de lignina nas folhosas (Schniewind e Berndt 1991; Tsoumis 1991). A madeira de paricá possui pequena quantidade de extrativo (Parte 1), quando comparada a outras espécies tropicais brasileiras estudadas por Oliveira et al. (2005b). No entanto, o conteúdo de lignina é elevado, assemelhando-se ao encontrado em algumas coníferas, contribuindo também para explicar a sua *normal* estabilidade dimensional.

4.2. Propriedades mecânicas

Quando se observaram diferenças significativas decorrentes da posição longitudinal, a tora da base foi a que apresentou os maiores valores médios de resistência mecânica, como era esperado, em razão, provavelmente, da maior densidade. No entanto, nas toras seguintes não foi obtida uma sequência de redução nos valores das resistências mecânicas, ou seja, ocorreram valores iguais nas 2 e 3 toras e ainda maiores valores de resistência na tora 2 que a encontrada na tora 3. Isso também pode ser devido ao padrão de variação de densidade ao longo do tronco da árvore (Figura 3). Em poucas situações (4) a resistência mecânica na posição longitudinal foi significativa. Isso é vantajoso

para o setor industrial, pois a resistência mecânica de produtos fabricados com a madeira de paricá de diferentes alturas na árvore possivelmente não apresentará grandes variações em suas propriedades mecânicas, resultando, assim, em produtos mais homogêneos quanto à resistência mecânica.

Em materiais como o ferro e o aço, o valor das propriedades elásticas é constante. No entanto, na madeira, este parâmetro é muito influenciado pelo conteúdo de umidade (Niklas 1992). A maioria das propriedades mecânicas e elásticas é inversamente proporcional ao teor de umidade das fibras, uma vez que a densidade é alterada pela presença de água (Panshin e de Zeeuw 1980). No entanto, o teor de umidade, nesse trabalho, não teve efeito na resistência ao cisalhamento, ao fendilhamento e na dureza no sentido radial.

O efeito da umidade foi mais evidente nas propriedades de resistência na direção paralela às fibras, com exceção da tração. O maior e o menor aumento nas propriedades mecânicas devido a redução do teor de umidade da madeira foi observado, respectivamente, para a o limite de proporcionalidade e e resistência à tração paralela. Green et al. (1999), comparando três ensaios mecânicos, encontraram menor efeito do teor de umidade na tração paralela, seguida da tração perpendicular e do módulo de elasticidade paralelo.

A resistência ao cisalhamento e a dureza Janka transversal foram as propriedades que apresentaram, respectivamente, o maior e o menor valor de acréscimo na resistência da idade aos 11 anos sobre a resistência aos 5 anos para nas amostras verdes. As propriedades das amostras secas ao ar, o maior e o menor acréscimo de resistência foi observado, respectivamente, para a dureza Janka radial e dureza Janka tangencial. Isso mostra a diferença de comportamento conforme se aumenta a idade para a propriedade de dureza.

De acordo com a classificação de Farmer (1972), a resistência à compressão paralela da madeira de paricá é considerada *muito baixa* no estado verde e *baixa* no estado seco ao ar. A resistência à flexão estática é *muito baixa*, tanto no estado verde quanto no estado seco ao ar, fato esperado em função de sua baixa densidade básica. As propriedades de resistência da madeira de balsa, de acordo com o Forestry Products Laboratory (2009), são inferiores aos obtidos neste estudo para a madeira de paricá, mostrando o

potencial dessa espécie, embora mais pesada, essa seria mais útil em situações que requeiram maiores resistências.

As tábuas de paricá apresentaram rachaduras que prejudicam o seu emprego como produto sólido. Sugerem-se estudos de determinação das tensões de crescimento, ainda em campo, utilizando aparelhos tais como extensômetro, DRL (deformação residual longitudinal), CIRAD etc.

Sabe-se da influência do espaçamento, do desbaste e da adubação na produção e qualidade da madeira. Novos estudos devem ser realizados com madeira proveniente de diferentes formas de manejo florestal, uma vez que nesse estudo estas variáveis foram constantes.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Brasil) pelo suporte financeiro, ao Centro de Pesquisa do Paricá - CPP (Dom Eliseu, Estado do Pará – Brasil) pelo fornecimento do material nas pessoas de Luciano Zaneti, Alessandro Lechinoski, Silvano D'Agnoluzzo e Marco Siviero, ao Sr. José Cardoso Moreira e a engenheira florestal Roberta Forsani.

5. Literatura Citada

Alzate SBA, Tomazello Filho M, Piedade SMS (2005) Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. Scientia Forestalis 68: 87-95.

Associação Brasileira de Florestas Plantadas – ABRAF. Anuário Estatístico 2009. http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-Errata_BR.pdf. Accessed 19 October 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Projeto de estruturas de madeira - NBR 7190. Rio de Janeiro: 1997. 107p.

Bendtsen BA (1978) Properties of wood from improved and intensively managed trees. For. Prod. J. 28: 61-71.

Bhat KM, Priya PB, Rugmini P (2001) Characterization of juvenile wood in teak. Wood Sci. Technol. 34:517-532.

Brown M J, McWilliams, WH (1990) Pine stands across the South - trends and projections. Southern Plantation Wood Quality Workshop, 1989, Athens. Greece Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, p. 1-15.

Butterfield RP, Crook RP, Adams R, Morris R (1993) Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two central american hardwoods: *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation-grown trees. IAWA Journal 14: 153-161.

Durlo MA, Marchiori JNC (1992) Tecnologia da madeira: retratibilidade Santa Maria, CEPEF/FATEC: 33.

Farmer RH (1972) Handbook of hardwoods. London, Her majesty's stationery office, 2nd. ed. 243p.

Gatto DA, Haselein CR, Buligon EA, Calegar L, Stangerlin DM, Oliveira LS, Santini EJ (2008) Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in *Luehea divaricata* Mart. Ciência Florestal 18: 535-540.

Green D, Winandy JE, Kretschmann DE (1999) Mechanical properties of wood. In: Wood handbook - Wood as an engineering material. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, p. 4-45.

Guler C, Copur Y, Akgul M, Buyuksari U (2007) Some chemical, physical and mechanical proprieties of juvenile wood from Black pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. Journal of Applied Sciences 7: 755-758.

Passialis C, Kiriazakos A (2004) Juvenile and mature wood proprieties of naturally-grown fir trees. Holtzforchung 62: 476-478.

Lara Palma HA, Ballarin AW (2003) Propriedades de contração na Madeira juvenile e adulta de *Pinus taeda* L. Scientia Forestali 64:13-22.

McAlister R, Clark A (1991) Effect of geographic localization and seed source on bending properties of juvenile and mature loblolly pine. For. Prod. J. 41: 39-41.

Niklas JK (1992) Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function. Chigago: University of Chicago Press.

Oliveira JTS, Hellmeisters JC, Toamzello Filho, M (2005a) Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto . Rev. Árvore 1:115-127.

Oliveira JTS, Souza LC, Della Lucia RM, Souza Junior WP (2005b) Influência dos estrativos na resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira . Rev. Árvore 5:819-826.

Panshin AJ, de Zeeuw C (1980) Textbook of Wood Technology. Mc Graw Hill Book Company, New York.

Quiló T, Miranda I, Pereira H (2006) Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis Eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *e. urophylla*). IAWA Journal: 27: 243-254.

Ramsay W, Briggs D (1986) Juvenile wood: has it come of age? In: A Technical Workshop: Juvenile wood-what does it mean to forest management and forest products, Madison, Forest Products Research Society, 5-11.

Schniewind AP, Berndt H (1991) The composite nature of wood. In.: LEWIN, M. & GOLDSTEIN, I.S. (ed.). Wood structure and composition. New York, Marcel Dekker: 435-476.

Senft JF Bendtesen BA, Galligan WL (1985) Weak wood. J. Forestry 83: 476-485.

Simpson W, Tenwolde A (1999) Physical properties and moisture relations of wood. In: Wood handbook – wood as an engineering material, gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, Madson, 463p.

Silva JC (2002) Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Silva JC, Oliveira, JTS (2003) Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. Rev. Arvore 27: 233-239.

Silva JC, Oliveira JTS, Xavier BA, Castro VR (2006) Variação da retrabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. Rev. Árvore 30:803-810.

Tsoumis G (1991) Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York, Van Nostrand Reinold 494p

Vidaurre G B, Vital B R, Zaneti L, Colli A, Naumann, R (2006) Paricá uma espécie promissora. Rev. da Madeira 97.

Yeh T, Braun JL, G Ldfarb B, Chang H, Kadla JF (2006) Morphological and chemical variations between juvenile wood, mature wood and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Holzforchung 60:1-8.

Ying L, Kretschmann D, Bendtsen B (1994) Longitudinal shrinkage in fast-grown loblolly pine plantation wood. For. Prod. J. 44: 58-62.

PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum*)

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético da madeira e do carvão de *Schizolobium amazonicum* (paricá). As árvores foram coletadas na região de Dom Eliseu – Estado do Pará, Brasil, nas idades de 5, 7, 9 e 11 anos e seccionadas em quatro toras de 2,7 m cada. Através da análise termogravimétrica da madeira, determinou-se a perda de massa em função da temperatura. O poder calorífico superior foi obtido de acordo com a norma NBR-8633. Determinaram-se, ainda, o rendimento gravimétrico em carvão e sua composição química imediata. Observou-se efeito significativo da idade e da posição no tronco apenas na faixa de temperatura compreendida entre 300 a 400 °C. O poder calorífico da madeira foi afetado pela idade das árvores, sendo o maior valor observado na idade de 5 anos. O rendimento gravimétrico e composição química imediata do carvão vegetal não foram afetados pela idade.

Palavras-chave: paricá, idade, propriedades energéticas.

ENERGY PROPERTIES OF THE WOOD AND OF THE COAL OF PARICÁ (*Schizolobium amazonicum*)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the energy potential of wood and coal *Schizolobium amazonicum* (paricá). The trees were collected in the region of Dom Eliseu - PA at ages 5, 7, 9 and 11 years and sectioned in four logs of 2.7 m each one. Through the thermogravimetric analysis of wood was determined the mass loss as a function of temperature. The calorific value was obtained according to standard NBR-8633. It was determined, though, the gravimetric yield in coal and its chemical composition. There was significant effect of age and height in the log only in the temperature range between 300 to 400°C. The wood calorific value was influenced by age of trees and the highest value observed at the age of 5 years. The gravimetric yield and chemical composition of charcoal were not affected by age of the trees.

Keywords: paricá, age, energetic properties.

1. Introdução

O potencial silvicultural e tecnológico apresentado pela espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) vêm demonstrando, ao longo dos anos, a sua viabilidade para o reflorestamento nas regiões norte e parte da região nordeste do país. A adequação da madeira para a produção de compensado, além do crescimento mais rápido que de outras espécies, tornou esta espécie nativa atualmente a mais plantada no Estado do Pará (MARQUES et al., 2005). A taxa de crescimento do paricá é de 30 a 35 m³/ha/ano, em média, mesmo sem a adoção de programas de melhoramentos comumente utilizados nos plantios em larga escala no país. Existem em torno de 80.177 hectares de paricá plantados no Brasil (ABRAF, 2009).

A utilização crescente da madeira do paricá pelas indústrias de lâminas aumenta, também, a disponibilidade de resíduos decorrentes do processo de laminação, que normalmente estão segregados das demais espécies laminadas pelo emprego de um torno laminador específico para a espécie. Isso torna vantajoso o aproveitamento de seus resíduos para a geração de energia. Estes resíduos estão disponíveis nas formas de lâminas que não atendem aos padrões de qualidade e um rolo central, denominado rolo-resto ou rolete.

A idade da árvore é importante, pois determina as características da madeira e, conseqüentemente dos produtos dela originados. No Brasil, os ciclos dos povoamentos são curtos devido às condições climáticas favoráveis ao rápido crescimento. O paricá para ser empregado comercialmente como fonte de geração de energia, demanda pesquisas de caracterização de sua madeira e de seu comportamento, frente à degradação térmica. O emprego energético, de forma eficiente deste material, requer o conhecimento de suas propriedades frente à aplicação de calor.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da idade e posição longitudinal ao tronco nas propriedades energéticas da madeira do paricá além do rendimento gravimétrico em carvão vegetal. O trabalho faz parte de projeto em que se estuda a caracterização da madeira do paricá, em diferentes idades, e a viabilidade de produção de diferentes tipos de chapas de partículas, polpação semiquímica e produção de papel.

2. Material e métodos

As árvores foram obtidas em plantios comerciais das empresas associadas ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP), Dom Eliseu, PA, nas idades de 5, 7, 9 e 11 anos. O plantio de 5 anos estava localizado no município de Itinga do Maranhão-MA (latitude: 04° 40' e longitude: 47° 36'). Os indivíduos com 7 anos de idades foram coletados na região de Dom Eliseu-PA (04° 12' e 47° 27') e os plantios de 9 e 11 anos de idade estavam localizados no município de Paragominas-PA (Latitude: 02° 48' e longitude: 47° 25'). Todos os plantios possuíam espaçamento de 4 × 4 m. Foram colhidas quatro árvores por idade, sendo estas seccionadas em 4 toras cada (toras 1, 2, 3 e 4) de 2,7 m e identificadas.

As propriedades energéticas foram determinadas em função da idade e da posição longitudinal ao tronco. Da extremidade inferior de cada tora, retirou-se um disco, totalizando 64 determinações. De cada disco, retiraram-se duas cunhas opostas, que posteriormente foram transformadas em palitos, moídas em moinho tipo Wiley e a serragem remanescente foi classificada nas peneiras de 40-60 mesh para os ensaios de termogravimetria, poder calorífico superior e teores de lignina e extrativos.

O poder calorífico superior foi determinado empregando-se uma bomba calorimétrica adiabática, conforme descrito na norma ABNT NBR 8633: 1983. Para a determinação do teor de lignina total e dos extrativos (etanol/tolueno e água quente) utilizou-se uma amostra composta não considerando a posição no tronco, apenas a idade das árvores. Foram empregadas as normas TAPPI 222 om-98 (lignina) e a TAPPI 204 om-88 (extrativos). Determinou-se, também, a densidade básica da madeira, em função da idade e posição longitudinal ao tronco, seguindo a norma preconizada pela ABNT NBR 7190: 1997.

Para a análise termogravimétrica, as amostras foram secas em estufa a $\pm 103^{\circ}\text{C}$, por 24 horas. As curvas de perda de massa em função da temperatura foram obtidas em uma termobalança, marca SHIMADZU TGA-50, a partir de aproximadamente 10 mg de serragem, em atmosfera de nitrogênio, com vazão constante de 30 mL/min a uma taxa de aquecimento de $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$. A partir dos termogramas, procederam-se os cálculos de perda de massa nos seguintes intervalos de temperatura: 30-100, 100-200, 200-300, 300-400 e 400-450°C e o

total da perda de massa de até a temperatura de 450°. Determinou-se, ainda, a temperatura na qual ocorreu maior variação de massa, obtida através da derivada da curva de perda de massa.

Para a produção de carvão preparou-se uma amostra composta e analisou-se apenas o efeito da idade das árvores. Amostras da madeira foram carbonizadas em mufla utilizando a seguinte marcha: 150 °C/60 min – 200 °C/60 min – 250 °C/90 min – 350 °C/90 e 450 °C/60 min, com duas repetições por amostra, totalizando oito carbonizações. Adotou-se esta temperatura final de carbonização, porque se enquadra no intervalo mencionado por Raad (2004), na faixa de 400 a 500 °C, nos processos convencionais de produção do carvão vegetal. Os gases gerados foram conduzidos para um condensador tubular, com recolhimento do líquido pirolenhoso.

Após a carbonização da madeira foram determinados o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso e gases não condensáveis. Além disso, foram determinados os teores de materiais voláteis e teores de cinzas e carbono fixo, em base seca bem como a densidade relativa aparente do carvão.

O poder calorífico, a composição química da madeira e as propriedades do carvão vegetal foram avaliados em função da idade; a termogravimetria e a densidade básica da madeira foram analisadas em função da idade da árvore e posição longitudinal ao tronco. O efeito das variáveis experimentais nas propriedades da madeira e do carvão vegetal foi avaliado através da análise de variância (ANOVA). Quando observadas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do testes de Tukey, a 95% de probabilidade.

3. Resultados

3.1. Densidade básica, teor de lignina total e extrativos

A densidade básica da madeira de paricá foi afetada pela idade e posição longitudinal ao tronco. Observou-se que a madeira, na idade de 5 anos e posição 1, foi significativamente diferente das demais, apresentando a menor densidade. A maior densidade básica foi encontrada para a idade de 11 anos

(Tabela 1). Na posição longitudinal verificou-se diferença significativa somente para a tora da base (tora 1) na idade de 5 anos. As densidades das toras da base foram superiores às demais, exceto para a idade de 5 anos.

Tabela 1 – Densidade básica da madeira de paricá

Idade (anos)	Densidade básica (kg/m ³)				Média geral
	Posição longitudinal				
	1	2	3	4	
5	260 Ba*	250 Aa	250 Aa	280 Aa	262 C
7	320 Aa	280 Aa	280 Aa	270 Ab	287 AB
9	310 Aa	270 Ab	260 Ab	260 Ab	275 BC
11	360 Aa	270 Ab	280 Ab	290 Ab	303 A

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ao longo da mesma coluna ou pela mesma letra minúscula ao longo da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A idade da árvore não influenciou o teor de lignina total e o teor de extrativos presentes na madeira os quais apresentaram valores médios de 29,5 e 4,4%, respectivamente.

3.2. Poder calorífico superior

A idade da árvore afetou o poder calorífico da madeira, porém não houve efeito decorrente da posição longitudinal ao tronco (Tabela 2). Na idade mais jovem foi observado o maior valor médio para o poder calorífico superior. Os valores médios variaram de 4.454 a 4.652 kcal/kg, com uma tendência de redução, conforme se aumentou a idade da árvore.

Tabela 2 – Poder calorífico da madeira em relação à idade da madeira de paricá

Idade (anos)	Poder calorífico da madeira (kcal/kg)
5	4 652 A*
7	4 534 B
9	4 436 B
11	4 454 B

* Médias seguidas pela mesma letra ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3.3. Análise termogravimétrica

Analisando a perda de massa da madeira, verificou-se que não houve efeito significativo da interação idade e posição no tronco para nenhum dos intervalos de temperatura avaliados. Contudo, verificou-se efeito isolado da posição longitudinal nas faixas de 100 a 200 °C, 300 a 400 °C e na perda total de massa até a temperatura de 450 °C. Observa-se na Tabela 3 que a perda de massa na posição longitudinal ao tronco teve um comportamento distinto para estas faixas de temperatura.

Tabela 3 – Perda de massa em função da posição longitudinal ao tronco, idade e de intervalos de temperatura da madeira de paricá

Posição longitudinal	Perdas de massa (%)		
	100 a 200° C	300 a 400° C	Total até 450° C
1	1,14 AB*	51,24 A	78,80 AB
2	1,00 B	51,45 A	78,63 AB
3	1,47 A	47,72 B	77,81 B
4	1,04 A	51,13 A	80,41 A
Idade (anos)	300 a 400°C		Total até 450°C
5	48,86 B		76,91 C
7	50,38 AB		78,30 BC
9	49,83 AB		80,06 AB
11	52,47 A		80,38 A
Faixas de temperatura (°C)	Perdas de massa (%)		
	Valor médio entre as idades 5, 7, 9 e 11 anos		
30 – 100	9,07		
100 – 200	1,16		
200 – 300	14,89		
300 – 400	50,39		
400 – 450	3,38		
Σ 450	78,91		

* Médias seguidas pela mesma letra ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A perda de massa ocorrida na faixa compreendida entre 300 a 400°C e a perda total de massa foi afetada pela idade das árvores. Nas demais faixas de temperatura, a diferença não foi significativa quanto à idade e posição longitudinal. Apesar disso, de modo geral, observou-se uma tendência de maior perda de massa à medida que se aumentou a idade da madeira.

A maior perda de massa total (até 450°C) foi observada para a idade de 11 anos, não diferindo estatisticamente da idade de 9 anos e a menor foi para a idade de 5 anos.

As médias gerais de perda de massa por faixas de temperatura, não considerando um valor médio para as quatro idades, estão também sumarizadas na Tabela 3. Para as quatro idades avaliadas, a perda total de massa até a temperatura de 450 °C foi de 78, 91%, sendo 50, 39% apenas na faixa compreendida entre 300 – 400 °C.

A temperatura na qual se observou uma maior variação de massa por minuto não foi afetada pela idade ou pela posição longitudinal. O valor médio geral para as quatro idades estudadas foi de 342,62 °C. A Figura 1 mostra a maior perda de massa de uma amostra de madeira de paricá. Observa-se que no intervalo entre 300 - 400°C ocorreu a maior perda de massa, intervalo esse que corresponde com a maior faixa de degradação dos principais componentes químicos da madeira, como lignina e celulose.

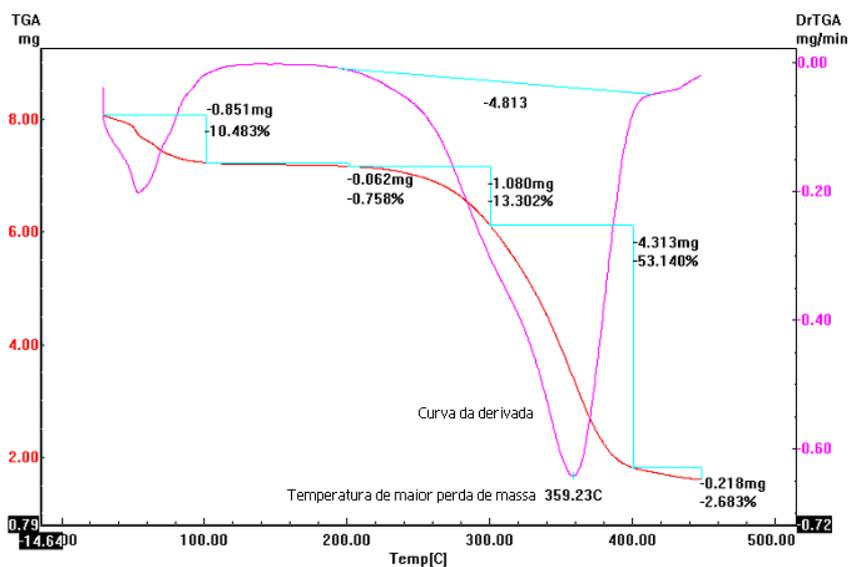


Figura 1 – Termograma da madeira de paricá aos 11 anos.

3.4. Propriedades do carvão vegetal

A idade da árvore não influenciou o rendimento gravimétrico e a composição química imediata do carvão. Os valores médios, para as quatro idades, das propriedades do carvão foram: rendimento gravimétrico em carvão

vegetal (35,2%), densidade aparente do carvão (0,17 g/cm²), carbono fixo (16,8%), materiais voláteis (24,5%) e cinzas (1,3%). O poder calorífico do carvão foi afetado pela idade da árvore e não mostrou a mesma tendência encontrada à madeira (Tabela 4) e as idades de 9 e 11 anos apresentaram os maiores valores.

Tabela 4 – Poder calorífico do carvão em função da idade da madeira de paricá

Idade (anos)	Poder calorífico do carvão (kcal/kg)
5	7.388 B*
7	7.715 C
9	7.872 A
11	7.855 A

* Médias seguidas pela mesma letra ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4. Discussão

De acordo com Bendtsen (1978), Sjöström (1981) e Zobel e Van Buijtenen (1989), a madeira juvenil apresenta maiores quantidades de lignina quando comparada ao lenho adulto. Nas idades estudadas, a madeira de paricá não apresentou esta tendência, pois não houve efeito da idade sobre o teor de lignina.

A madeira de menor densidade apresentou o maior poder calorífico médio enquanto a madeira da idade de 11 anos, apresentou a maior densidade básica e o menor poder calorífico. Isso mostra que a densidade não está relacionada diretamente com a energia contida na madeira e está em acordo com Cunha et al. (1989), que mencionaram que não há correlação entre a densidade básica e o poder calorífico. Entretanto, quanto maior a densidade, maior é a energia contida por unidade de volume, o que estimula o interesse por madeiras mais densas para a queima, contribuindo para a otimização de transporte e processo. Nesse contexto, a utilização da madeira de paricá para a produção de carvão não seria técnica e economicamente viável em função da baixa densidade aparente. Durante a pirólise da madeira, há uma perda em média 50-60%, de sua densidade inicial, o que resultou em um carvão vegetal

de densidade aparente média de 170 kg/m³ para as quatro idades. A utilização de seus resíduos como fonte de energia, no entanto, pode ser interessante mediante a otimização de suas propriedades e processos de conversão energética.

Cunha et al. (1989) e Jara (1989) afirmaram que o poder calorífico é influenciado pela constituição química da madeira, principalmente pelo teor de lignina e extrativos. Comparando à madeira de eucalipto, comumente utilizada para a geração de energia, os valores médios obtidos de lignina e extrativos para a madeira de paricá foram superiores, o que pode ter afetado o poder calorífico. O poder calorífico médio para as quatro idades estudadas foi de 4.544,5 kcal/kg, valores muito próximos aos de eucalipto, mencionados por Quirino et al. (2005), mas inferiores aos valores médios encontrados por Vale et al. (2002) para 47 espécies do Cerrado (4.763 kcal/kg) e por Castilho (1984), de 4.751 kcal/kg, para 20 espécies da Amazônia peruana.

Lemenih e Bekele (2004) avaliaram o efeito da idade no poder calorífico superior da madeira de eucalipto de diferentes espécies plantadas na Etiópia e observaram uma correlação negativa com a idade da árvore, embora a diferença entre a idade de 11 e 21 anos nos valores médios do poder calorífico fosse pequena.

A variação nos valores do poder calorífico é maior quando se comparam espécies e pouco expressiva dentro da espécie, assim como quando se comparam a idade e a posição no tronco. Vários autores apontam para a relação positiva entre a idade e as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira: Bhat et al. (2001), Lara Palma e Ballarin (2003), Passialis e Kiriazakos (2004), Silva (2005), Gatto et al. (2008), dentre outros, porém, poucos são os estudos que abordam a influência da idade da árvore nas propriedades energéticas da madeira.

Oliveira (2003), estudando as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, observou que a maior perda de massa para as quatro espécies não foi significativa. Esta mesma tendência foi encontrada para a madeira de paricá quanto à diferença de idade, exceto nos intervalos de maiores perda de massa. A temperatura de pico para a madeira de *Eucalyptus grandis* encontrada pela autora foi de 369,42 °C, mais alta quando comparada com a obtida para a madeira do paricá (342,62 °C);

assim sendo, verifica-se que a madeira de paricá perde mais massa a uma temperatura mais baixa quando comparada com a madeira de *Eucalyptus grandis*.

A degradação térmica teve início em 200°C e a maior perda de massa ocorreu na faixa de 300 – 400 °C, com uma mudança de 50,39%. Nesta faixa, ocorreu a maior degradação dos componentes químicos da madeira. Observou-se que a idade teve efeito significativo na perda de massa compreendida na faixa de temperatura entre 300 a 400 °C e na perda total de massa, onde as madeiras das idades mais velhas perderam mais massa. Trugillho (1995) não observou diferença significativa nas análises termogravimétricas para nove espécies de eucalipto, em diferentes idades.

Oliveira (2003) ainda, estudando a utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal, em condições similares a este estudo, obteve valores médios de rendimento gravimétrico, teores de carbono fixo e cinzas de 33, 72,61 e 0,98%, respectivamente. Os resultados obtidos da análise química imediata do carvão de paricá foram similares aos encontrados em florestas plantadas para fins energéticos no Brasil, como o eucalipto.

O teor de cinzas obtido foi considerado alto quando comparado ao carvão de eucalipto produzido no Brasil. Para Vital et al. (1986), o teor de cinza no carvão está diretamente relacionado, sobretudo, ao teor de cinza do material carbonizado. Oliveira (2003) mencionou que o teor de cinzas, assim como sua composição química, pode ser afetado pela disponibilidade de minerais do solo. A densidade aparente do carvão foi baixa e não apresentou tendência de aumento com a idade da árvore

5. Conclusão

De modo geral, a idade da árvore e a posição longitudinal ao tronco afetaram as propriedades termogravimétricas da madeira nos intervalos de temperatura onde ocorreram as maiores perdas de massa. A idade afetou o poder calorífico, porém não afetou as propriedades do carvão vegetal.

O poder calorífico da madeira do paricá comparou-se ao poder calorífico da madeira de eucalipto, espécie tradicionalmente empregada como fins energéticos.

A madeira do paricá pode ser utilizada na geração de energia, uma vez que o poder calorífico e as características do carvão vegetal apresentaram valores similares aos encontrados em madeiras usadas comumente como combustível. Sugere-se o seu aproveitamento na forma de briquetes, com o intuito de reduzir o efeito negativo da baixa densidade da madeira e consequentemente do carvão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado, ao Centro de Pesquisa do Paricá – CPP, pelo fornecimento do material de estudo, e aos técnicos, José Cardoso da Silva e José Maria, pela preparação da madeira e ao técnico José Aristeu, pelas análises de poder calorífico e da termogravimetria.

6. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso 15 Set. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas técnicas NBR 8633**: Brasília: 1983. [n.p.].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas técnicas NBR 7190**: Brasília: 1997. [n.p.].

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 10, p. 61-71, 1978.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterization of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**, v. 34, p. 517-532, 2001.

CASTILHO, E.; ALZOLA, A. Utilización de biomasa: determinacion del poder calorifico de los conos de tres especies florestales cubanas. **Revista Florestal Baracoa**, v. 18, n. 2, p. 117-120, 1988.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989. São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP, v. 2, p. 93-121, 1989.

GATTO, D. A. et al. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto por meio de parâmetros anatômicos para madeira de *Luehea divaricata* Mart. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 4, p. 535-540, 2008.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

LARA PALMA, H. A.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 13-22, 2003.

LEMMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia. **Biomass e Bioenergy**, v. 27, p. 223-232, 2004.

MARQUES, T. C. L.; YARED, G. A. J.; SIVIERO, A. M. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

PASSIALIS, C.; KIRIAZAKOS, A. Juvenile and mature Wood properties of naturally-grown fir trees. **Holtzforchung**, v. 62, p. 476-478, 2004.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

RAAD, T. J. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *Eucalyptus spp.*** 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n.5, p. 795-799, 2005.

SJÖSTRÖN, E. **Wood chemistry**. Nova York: Academic Press, 1981. 223 p.

THECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Tappi test methods: 1992-1993**. Atlanta, 1992.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas de análise multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

NSSC PULPING OF *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus grandis* AND THEIR MIX

Abstract: Neutral sulphite semichemical pulping (NSSC) of *Schizolobium amazonicum* (Parica), an Amazonian fast growing tree, was compared with that of *Eucalyptus grandis* (eucalypt), one of the most important wood sources for the Brazilian pulp industry, and with that of mixtures of both woods in different proportions (mix). Wood chips prepared from 7 yr old trees were steamed, cooked by the NSSC process and defibered in a 12" disc refiner in three stages. The Parica wood produced pulp of lower yield (75%) than eucalypt (77%) at 16% sulfite/150 min/170^o C. The Parica and eucalypt pulps were bleached to about 68 and 74% ISO brightness, respectively, by the QPFAS sequence. Paricá consumed more energy for refining in relation to the eucalypt wood. The wood mix produced lower yield and brightness than the single species processed separately.

Key-words: *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus grandis*, NSSC, pulping, bleaching

1. Introduction

A significant part of the paper pulp production from hardwoods has been done *via* chemical processes. Particularly in the case of eucalypt wood, the kraft process has been the dominating technology for it delivers a pulp of high strength and good formation as compared for example with semi-chemical and chemical-mechanical pulps. The NSSC process is the most important semi-chemical process, and is mainly applied to hardwood chips (Karlsson 2006). The production of mechanical and semi-chemical pulps from hardwoods may be attractive because of their low costs and bulky fibers (Xu et al. 2007).

In Brazil, there are around 4.3 and 1.9 million of planted eucalyptus and pine forests, respectively, largely concentrated in the South and Southeast regions. Eucalypt and pine plantations are scarce in the Brazilian Northern regions, where native species such as *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke (Parica) present high growth rate. Parica plantations stands may produce 35 m³/ha/yr, which are comparable to the fast growing eucalypts and pines grown in the South and Southeast (Vidaurre 2006). The area cultivated of Parica is still small (80.177 ha in 2008) but is growing steadily particularly in the

States of Para where it is used for plywood manufacture (ABRAF 2009). The reforestation with Amazonian native species is still in early stages in Brazil but it is extremely important for the Amazon region in order to supply raw material for the fast growing wood products industries.

Schizolobium amazonicum belongs to Caesalpinaceae family, native of the Amazon forest, and produce a wood of low density. The trees produce a straight stem, which is free of knots and the wood has a pale yellow-white color with distinct growth rings showing a striking difference between heartwood and sapwood.

This investigation aimed at optimizing the NSSC pulping process in regard to sodium sulfite charge and reaction time for production of bleached pulp (QPFAS sequence) from Parica, Eucalypt and their mix in different proportions. The evaluations focused on pulp yield, brightness, and energy and chemical consumptions.

2. Experimental

The Parica wood was obtained from commercial plantations in Pará State, Northern Brazil at ages between 7-9 years. The logs were debarked and chipped at Federal University Viçosa Pulp and Paper Laboratory. The Eucalypt chips were supplied by Suzano Paper and Pulp Co. The chips from both woods were screened and according to SCAN 40:94. Overs and pins chips were separated and discarded. The chips were dried and sent to Hamburg University, Wood Chemistry Laboratory, Germany. The wood specific gravity was measured according to ABNT -7190 standard method. The wood contents of sugars, acid insoluble lignin, acid soluble lignin, lignin syringyl/guaiacyl (S/G), ethanol/ cyclohexene (2:1) extract, hot water extract, total uronic acid groups, acetyl groups and ash were carried out by the Tappi T249 cm-85, Tappi T222 om-98, Tappi UM 250, Lin e Dence (1992), TAPPI 204 om-88, Scott (1979), Solar et al, 1987, and Tappi T211 om-93, respectively.

Wood chips from Parica (600 g o.d.) and eucalyptus (1000 g o.d.) were steamed (30 min) and then transferred to a7L-M/K digester equipped with forced liquor circulation and process control systems hooked up to a computer device. The sulfite cooking liquor (pH 9.5) was added to the digester and the

cooking proceeded according to conditions described in Table 1. When the cooking time elapsed the digester was manually disabled and cooled down. At the end of the cook, a small sample of black liquor was collected for pH and residual sulfite analysis.

Table 1 – Cooking Parameters

Pulping conditions	
Liquor ratio (m ³ /t wood)	4:1
T _{max} (°C)	170
Heating-up time (min)	90
Time at temperature (min)	75-270
Na ₂ SO ₃ (% on o.d wood wt.)*	8-24

* Pure Parica and Eucalypt were cooked with 8, 12, 16, 20 and 24% Na₂SO₃ and the wood mix was cooked with 16% Na₂SO₃ only.

The chips were thoroughly washed after the chemical treatment, and subsequently three-stage defibered in a 12" diameter Sprout-bauer refiner. After the refining, a small pulp fraction was collected to prepare pulp pads (Zellcheming-Vorschrift V/19/63) for brightness measurement according to SCAN C 11:75 procedure in a Datacolor Elrepho 450X (ISO-Norm 2470). The remaining pulp was dewatered in a centrifuge, homogenized, weighted and stored for the following bleaching studies. Pulp kappa number was determined in accordance with Zellcheming-Vorschrift IV/37/80 procedure. Pulping yield was measured gravimetrically.

Pulp bleaching was carried out with the QPFAS sequence. The Q (Chelant) and FAS (Formamidine sulfinic acid) stages conditions were kept constant for all pulps. The pulp was pretreated with 0.20% of the pentasodium salt of the diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA) at 3% consistency, 60°C and pH 5.5 for 60 min (Q-stage). The P stage bleaching was run at 80°C and initial pH 11.3 for 240 min with two different H₂O₂/NaOH doses (% on o.d. pulp weight), namely: (3/2,25) and (5/3,0).. The effect of additives such as Na₂SiO₃ (2%), MgSO₄ (0,10%) and DTMPA (0,05%) and of reaction consistency (10 and 20%) were investigated in the P-stage. The FAS stage was carried out with 0.50% FAS, 0.40% NaOH and 0.30% sodium silicate at 10% consistency, 99°C, pH 10.7 for 30 min, according to Storz (2009).

The amount of energy required for chip defibration was measured directly in the laboratory refiner motor from the readings of work and time. The defibration runs were carried out with 2000 g of previously cooked wood chips. The yield was measured gravimetrically.

3. Results and discussion

3.1. Wood characterization

Table 3 shows the physical and chemical characteristics of the Parica and Eucalypt woods. The Parica wood specific gravity (290 kg/m^3) is much lower than that of the Eucalypt. This very low specific gravity is undesirable for pulp production because of its negative impact on pulp throughput (tons of pulp per hectare of land). Genetic improvement of the species is required before it becomes widely used for pulp production.

Table 3 – Specific gravity and chemical composition of Parica and Eucalypt

Chemical Composition (%)*	Parica	Eucalypt
Specific gravity (kg/m^3)	290.0	425.0
Glucans	50.5	48.6
Xylans	11.2	11.5
Galactans	0.4	0.9
Arabinans	0.2	0.2
Mannans	1.1	0.9
Klason lignin	27.6	23.1
Acid soluble lignin	1.90	4.21
Total lignin	29.5	27.3
Lignin S/G	1.0	2.9
Extractives in Ethanol/cyclohexene (2:1)	2.71	1.54
Extractives in Hot water	2.47	1.71
Total uronic acid groups	1.0	4.7
Acetyl groups	2.2	2.7
Ash	0.74	0.22

* The contents are expressed in oven dried (o.d) weight % of extractive free wood, except for hot water, ethanol/cycle hexane and ash contents that were measured in the whole wood.

The Parica wood total lignin concentration, including Klason and acid soluble, is very high (29.5%) in relation to other hardwoods from temperate climate such as beech, birch and poplar (Patt et al., 2006). The measured value

is more typical of softwoods. However, hardwoods growing in tropical climate tend to produce lignin values higher than usual. In fact, the large majority of Eucalypt wood species growing in Brazil present total lignin contents in the range of 26-32%, which are not typical of hardwoods. A significant part of Eucalypt lignin (3.5-5.5% on wood weight) is acid soluble and easy to remove across chemical pulping processes. Parica wood, on the other hand, contains much less acid soluble lignin, which in principle makes it less amenable to chemical processing in relation to Eucalypt. The acid soluble lignin structures are less resistant to degradation and solubilisation, and are more easily removed in alkaline cooking (Gomide and Colodette 2007, Frederick 2009). The low content of acid soluble lignin present in Parica wood likely reflects its low S/G ratio (1:1) in relation to Eucalypt wood (2.9:1). Syringyl lignin is less prone to condense during the acid hydrolysis and is more likely to become acid soluble. In principle, a lignin containing low S/G ratio should be more challengeable to remove in chemical treatments. In fact there are some evidences indicating a positive impact of lignin S/G ratio on kraft pulping yield, indirectly caused by the lower alkali demand for pulping (Mokfienski 2004, Colodette 2006 and Ferreira 2006).

Parica wood extractive content is within a normal range but higher than that of the Eucalypt. It is worth noting the Eucalypt wood extractive content is unusually low and reflects the significant tree improvements made on the species throughout the years. Although Parica wood should not present major issues related to extractives, it has room for improvement through genetic manipulations. An interesting feature of the Parica wood is its low content of uronic acids and acetyl groups in relation to Eucalypt wood. These shall be interesting for alkaline pulping since these groups consume significant amounts of alkali. On the other hand, the wood ash content was also significantly higher for Parica wood in relation to Eucalypt and this is negative for most processes of chemical conversion of wood. The large amount of minerals in Parica wood reflects its high growth rate and the fact that the trees were harvest very young (7 yrs old). That should have been the case also for the Eucalypt but the fact that the *E. grandis* used in this study was genetically improved may explain its low ash content.

The hemicelluloses sugar content of Parica and Eucalypt woods were very similar although the total weight of hemicelluloses was lower for the Parica wood due to its low acetyl and uronic acid group contents. In spite of its very high lignin content the Parica wood showed a higher content of glucans than the Eucalypt. This is a positive feature since chemical pulping yield correlates well with glucans content for tropical hardwoods (Ferreira et al. 2006). Tropical hardwoods contain low mannans, which makes their glucans contents very close to their cellulose contents. Note that the summative analyses of the wood components added up to 96.8 and 97.0% on extractive free wood for Parica and Eucalypt respectively. Therefore, there is about 3% material missing, which likely resulted from incomplete acid hydrolysis of polysaccharides leading to oligomers that could not be accounted for. Considering that both Parica and Eucalypt woods yielded about 97% after acid hydrolysis it is fair to compare their chemical composition. Parica wood presented higher cellulose, extractive and ash contents, similar hemicelluloses sugar composition, and lower uronic acid and acetyl groups than Eucalypt. These features suggest that Parica is a less attractive wood for chemical processing than Eucalypt. This is particularly true when taking into account its low specific gravity. So, large efforts are required in the Parica genetic improvement investigations in order to make it more feasible for use in the pulp industry since the chemical composition of wood species is decisive for their suitability for pulping (Hunger 1983).

3.2. Pulping

Figure 1 shows the effect of sulfite charges (8-24% Na_2SO_3 on wood wt.) on pulping yield, pulp brightness and kappa number, and final pH and residual sulfite in spent liquor during NSSC cooking of Parica and Eucalypt woods for 150 min reaction time. For the Parica wood, the effect of reaction time in the range of 120-180 min was also evaluated (Fig. 2). For Parica wood, yield and kappa number tended to decrease with increasing sulfite concentration while brightness, final pH and residual sulfite increased; the effects were more visible above 12% Na_2SO_3 concentration. For Eucalypt wood, yield was not significantly affected by sulfite concentration; the yield tended to increase slightly with increasing sulfite concentration. Final pH of the spent liquor was

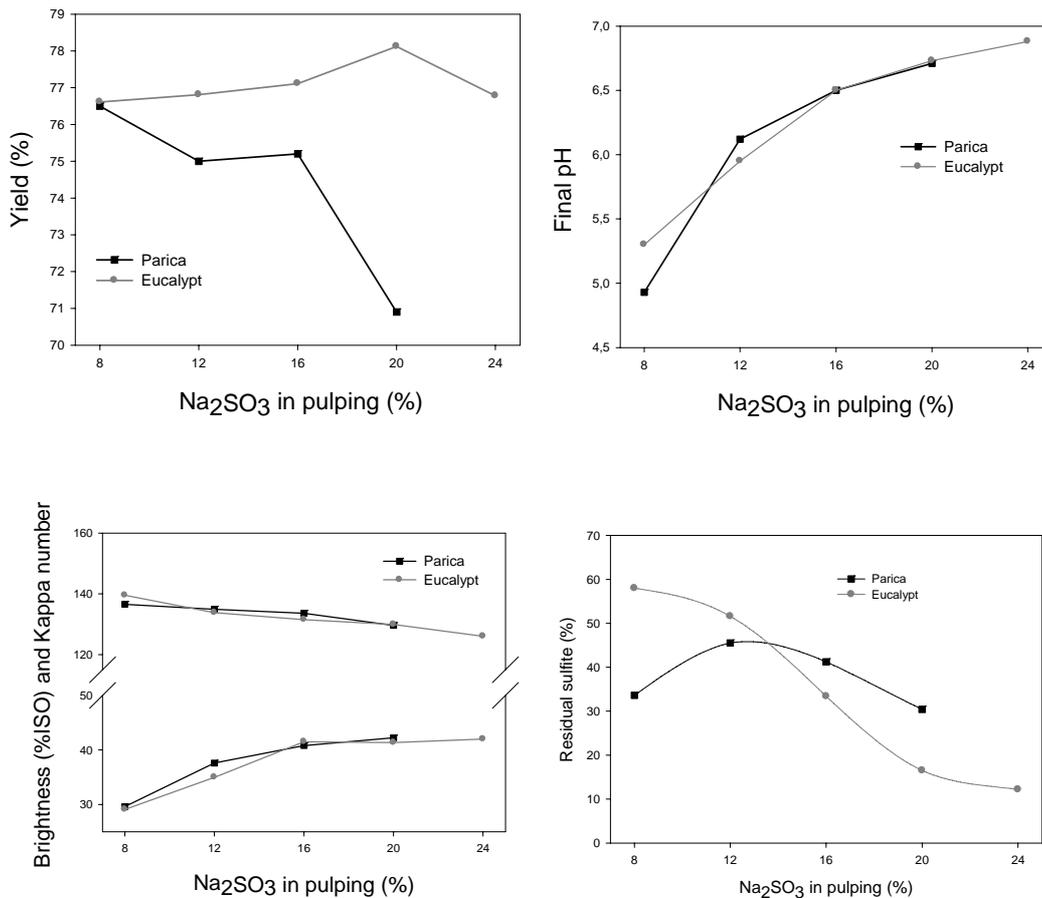


Figure 1 – Effect of sodium sulfite dose on pulp yield, spent liquor pH, brightness/kappa number and residual sulfite for NSSC pulping of Parica and Eucalypt woods. Fixed pulping conditions 170 °C, 150 min cooking time and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

directly related to Na₂SO₃ dose and independent of the wood type, with a final pH of 6.7 being achieved for both Parica and Eucalypt at the 20% Na₂SO₃ dose. It is apparent that a 16% Na₂SO₃ charge represent a good compromise between yield and pulp brightness; in other words, yield drops become significant above this charge whereas brightness gains are meaningless. As anticipated, the longer the reaction time the lower the yield and kappa number of the pulps for both Parica and Eucalypt woods (Fig. 2). The decrease in brightness with increasing reaction time is of difficult explanation. It may be related to the decreased spent liquor pH with increasing cooking time. Sodium sulfite is a better bleaching agent at higher pH values. At a given chemical charge (ex: 16% Na₂SO₃) an yield decrease of about 3% was observed for each 30 min increase in reaction time (Fig. 2). In general, the Eucalypt wood

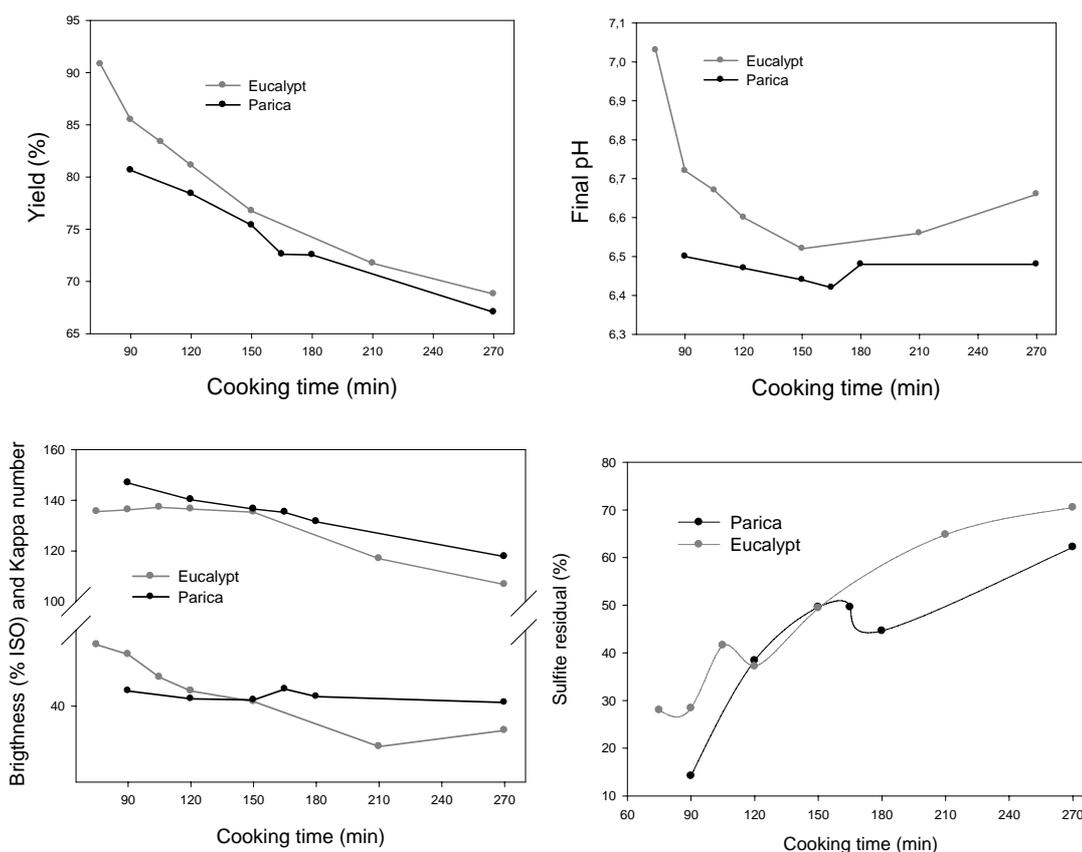


Figure 2 – Effect of cooking time on pulp yield, spent liquor pH, brightness/kappa number and residual sulfite for NSSC pulping of Parica and Eucalypt woods. Fixed pulping conditions: 170 °C, 16% sulfite dose and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

delivered higher yields than Parica due to its more favorable wood specific gravity and chemical composition (Table 3). The only scenario where Parica and Eucalypt produced similar yields was for the 8% sulfite charge at 150 min reaction time (Fig. 1).

The energy required for chip defibration was higher for Parica than for Eucalypt (Fig. 3). This may be explained by the low density of the Parica wood chips, which in contact with the refiner slip through the disks, thus enhancing energy demand. The higher lignin content of the Parica wood may have affected energy demand as well. The energy demand also increased with decreasing cooking time. In Figure 3, decreasing cooking time is represented by increasing cooking yield. At cooking yields over 76% the energy demand for chip defibration increased rather sharply (Fig. 3)

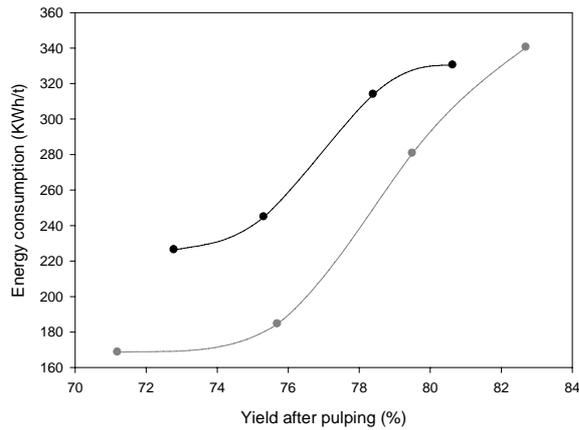


Figure 3 – Energy consumption for chip defibration versus yield development (yield variations were achieved by changing cooking time). Fixed pulping conditions: temperature: 170°C, 16% sulfite dose and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

The two hardwood species surveyed in this work have showed higher consumption of energy than the species *P. abies*, studied by Stolz (2009). For a given yield after the NSSC cooking, the conifer consumed less energy than the hardwoods species for defibration. The consumption depends on the species of wood and the amount of lignin eliminated during cooking. Moreover, hardwoods consume greater quantities of energy in the process than conifers (Worster 1985).

Figure 4 shows yield, kappa number and brightness results obtained from NSCC pulping of Parica/Eucalypt chip mixtures in the range from 0/100 to 100/0%. In general, no synergism was observed by blending the chips. In general the yields, brightnesses and kappa numbers obtained with the chip mixtures reflected the individual contribution of each wood type.

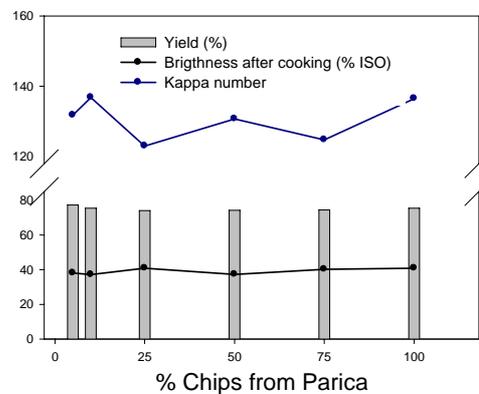


Figure 4 – Effect of Parica and Eucalyptus chip mixture on sulfite cooking performance. Fixed pulping conditions: 170°C, 150 min cooking time, 16% sulfite dose and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

3.3. Delignification and carbohydrates degradation

Figure 5 shows the effect of sodium sulfite dose (8-24%) applied during the 150 min cooking phase (170°C) on the major pulp constituents (lignin, glucans and xylans). As anticipated, the pulp lignin concentration decreased with increasing sulfite dose from 8-24% on wood weight. The Parica pulp tended to maintain a higher lignin concentration than the Eucalypt one up to the 16% sulfite dose where the lignin content in both pulps were similar (~12.5%). The pulp glucan concentration also decreased with increasing sulfite dose but the effect on the Parica wood was much more pronounced than on the Eucalypt one, particularly above the 16% dose. Incidentally, the pulp glucan concentration was about 49% for both Parica and Eucalypt pulps at the 16% sulfite dose. Surprisingly, the pulp xylan concentration tended to increase with increasing sulfite dose with different behaviors for the Parica and Eucalypt woods. In the former case, xylan concentration maximized at the 12% sulfite dose and dropped sharply above that, whereas for the latter case it reached a maximum at 20% sulfite dose and decreased slowly over that value. The lower stability of the Parica xylans in relation to the Eucalypt one is explained by its lower content of uronic acids (1%) compared to Eucalypt (4.7%) (Table 3); uronic acids are known to protect xylan chains in alkaline media. It is worth noting that the original xylan contents of the Parica and Eucalypt woods were 11.2 and 11.5%, respectively (Table 3). Therefore, the increase in pulp xylan concentration with increasing sulfite dose derives from simple mass balance change since lignin concentration decreased sharply. If one takes into account the pulping yields, for example at 16% sulfite dose, which were 75 and 77% for the Parica and Eucalypt woods, respectively (Fig. 1), it is possible to derive the xylan losses across pulping. At these yields, the xylan concentrations in both pulps should have been around 14.9% if there were no losses. The actual readings were 7.9 and 8.6% xylans for Parica and Eucalypt, respectively (Fig. 5). Thus, the xylan losses across sulfite cooking at 16% sulfite dose were 53% and 58% for Parica and Eucalypt, respectively. These losses are similar to values reported for kraft pulping of Eucalypt wood.

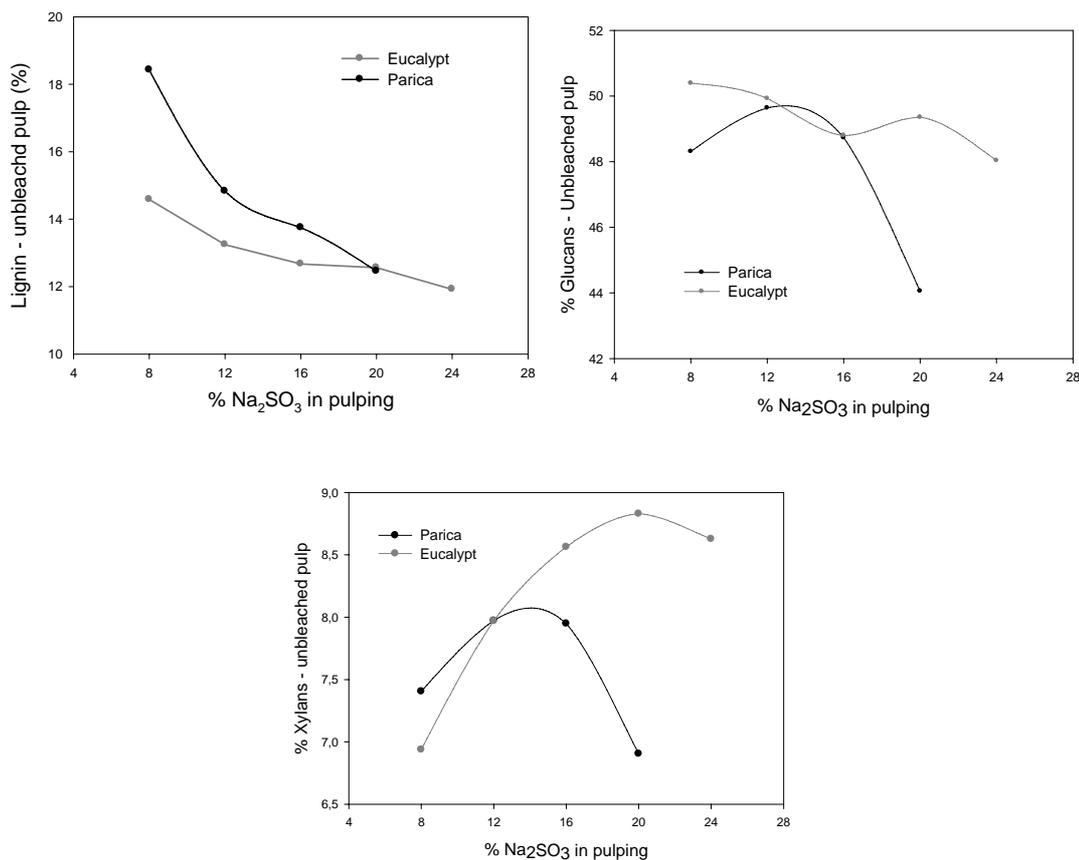


Figure 5 – Effect of % Na_2SO_3 dose on lignin, glucans and xylans content of the unbleached pulp. Fixed pulping conditions: 170°C, 150 min cooking time and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

Figure 6 shows the effect of reaction time (75-270 min) applied during the sulfite (16%) cooking phase (170°C) on the major pulp constituents (lignin, glucans and xylans). As expected, the pulp lignin concentration decreased with increasing reaction time from 75 to 270 min both for Parica and Eucalypt, with the latter showing higher easiness of delignification. At 275 min retention time, the pulp lignin levels were 8.9 and 8.2% for the Parica and Eucalypt woods, respectively. In general, the pulp glucan concentration decreased with increasing reaction time, but the behavior of the concentration was quite unusual with occasional increases and drops across reaction times. Pulp xylan concentration tended to decrease with increasing reaction time with the xylan losses being higher for the Parica wood in relation to the Eucalypt. The only exception was the slight increase in Parica pulp xylan content in the 90-120 min time interval. At 275 min retention time, the xylan retentions in the Parica and Eucalypt pulps were 6.5 and 7.4%, respectively.

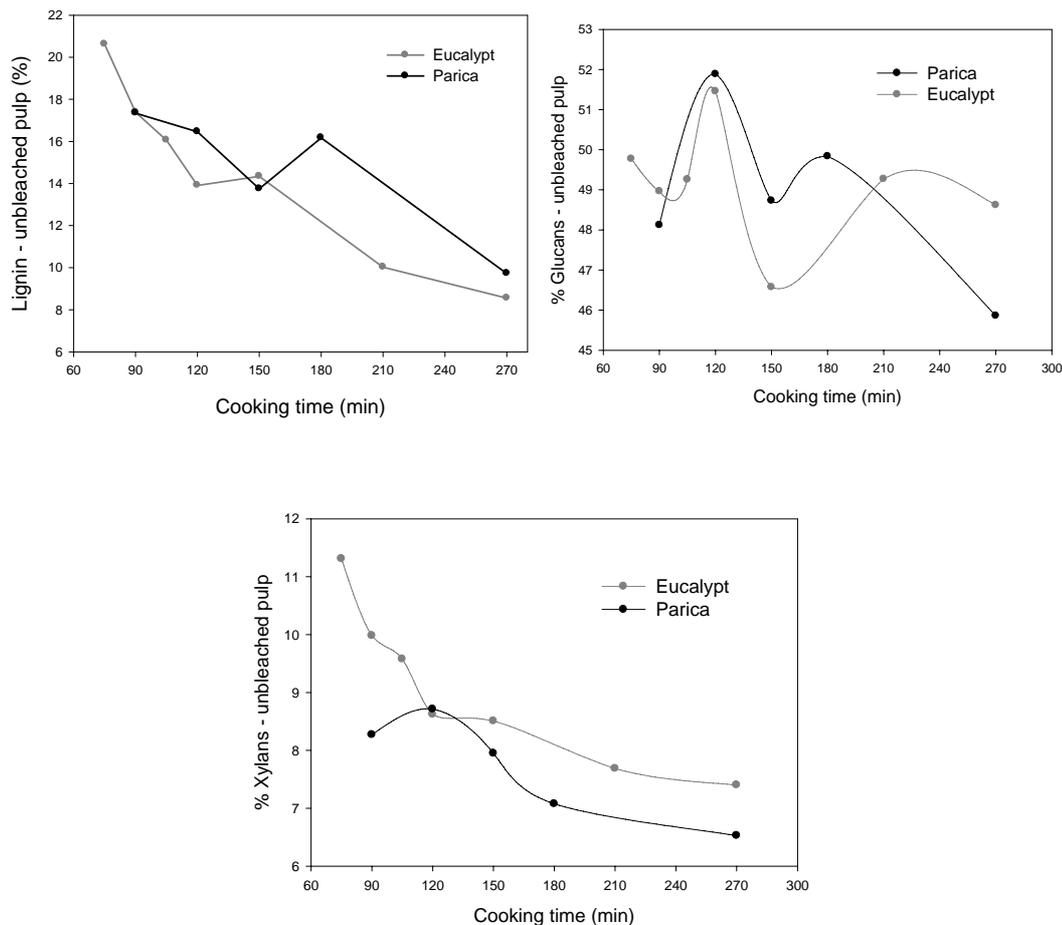


Figure 6 – Effect of cooking time on lignin, glucans and xylans content of the unbleached pulp. Fixed pulping conditions: 170°C, 16% sulfite dose and liquor/wood ratio: 4:1 L/kg.

3.4. Bleaching

The bleaching stages containing hydrogen peroxide were stabilized with small and optimized charges of DTMPA, MgSO₄ or sodium silicate. These quantities were determined in previous NSSC pulp bleaching studies by Storz (2009) and Pereira (2009). The reaction temperature of 80°C has been previously determined as an optimum value for peroxide bleaching of NSSC pulp (Macorra et al. 2000; Pereira 2009). Thus, these conditions were used as a given for the development of our NSSC pulp bleaching studies.

Figure 7 shows the impact of sulfite cooking time on subsequent pulp bleachability of Parica pulp with a hydrogen peroxide stage. The pulps were

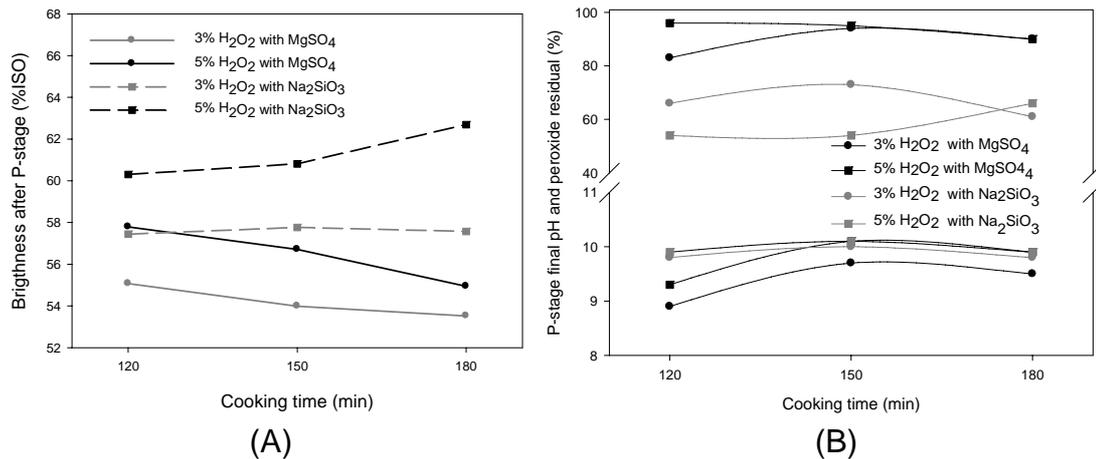


Figure 7 – Effect of NSSC cooking time on Parica pulp, previously chelated with DTPA, bleaching with single peroxide stage stabilized with magnesium sulfate and sodium silicate. Fixed conditions: Pulping: 170°C, 16% sulfite dose, 150 min cooking time and licor: wood ratio 4:1L/kg; Bleaching: Q-stage: 60°C, 3% consistency and pH 5.5 for 60 min; P-stage: 80°C, 10% consistency, 3 and 5% peroxide with magnesium sulfate or sodium silicate for 4 hours.

chelated with DTPA before bleaching (3% consistency, 60 ° and pH 5.5 for 60 min). Various peroxide bleaching strategies were used, including the effects of peroxide doses and of additives in the bleaching liquor. The sulfite cooking time had somewhat erratic effect on peroxide bleaching when evaluated by final pulp brightness (Fig. 7, left). Increasing cooking time above 150 min resulted pulp with increased bleachability in the P-stage stabilized with Na₂SiO₃ and decreased bleachability in the one stabilized with MgSO₄, regardless of the peroxide dose (3 or 5%). Sodium silicate was more effective to stabilize hydrogen peroxide than magnesium sulfate for both 3 and 5% peroxide doses. Peroxide residuals were in general very high (Fig. 7B), particularly when magnesium was used as additive, indicating the need for recycling the hydrogen peroxide filtrates. That way, higher brightness values would have been achieved. The maximum brightness achieved was about 62%, which is general sufficient for using the pulp in less demanding applications such as corrugating medium. Pereira (2009) already had noticed the importance of using sodium silicate in peroxide bleaching of *E. globulus* NSSC pulps.

Figure 8 shows the effect of consistency on P-stage bleaching performance of various Parica and Eucalypt pulps produced under different conditions. Pulp brightness tended to increase with increasing consistency

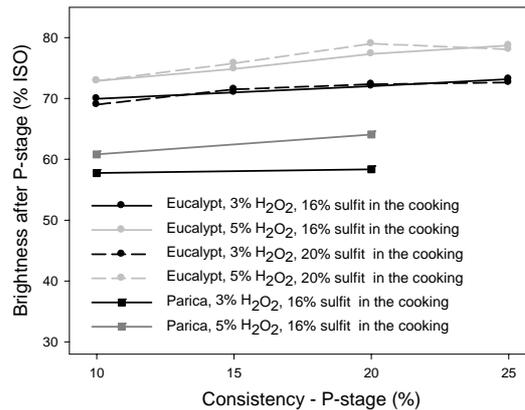


Figure 8 – Effect of consistency in P-stages on Paricá and Eucalypt pulp previously chelated with DTPA. Fixed conditions: Pulping: 170°C, 16% and 20% sulfite dose, 150 min cooking time and licor: wood ratio 4:1L/kg; P-stage: 80°C, 10% consistency, 2% silicate, 3 and 5% peroxide for 4 hours.

regardless of pulp type and bleaching conditions. In general, better brightnesses were achieved with the eucalyptus pulp, a result that may be explained by the higher S/G ratio of the Eucalypt lignin (Table 3) in relation to the Parica one. Higher S/G ratio means more B-O-4 bonds and less condensed bonds which facilitate bleaching.

The effect of consistency on brightness in the peroxide stage was a more dramatic at 20% (Fig. 6). After that had a tendency of stabilization of the brightness values.

There was an insignificant increase in brightness when increased from 16 to 20% the charge of sulphite in the cooking of eucalyptus wood, despite the reduction in kappa values. Higher increases were observed with increasing charge of peroxide 3 to 5% in P stage for both species.

For FAS stage, the higher consistency was not submitted during the bleaching effect (Fig. 9). Wenig (2009) confirmed that the consistency did not have influence in the FAS stage for *P. abies* NSSC pulp.

The Eucalypt brightness after pulping tended to decrease as to increase the cooking. For Parica wood there was no clear trend. In the subsequent bleaching, cooking with Eucalypt wood brightness to the reduced cooking time of 150 minutes and after that, the brightness increased. For Parica pulp again no clear trend (Fig. 10).

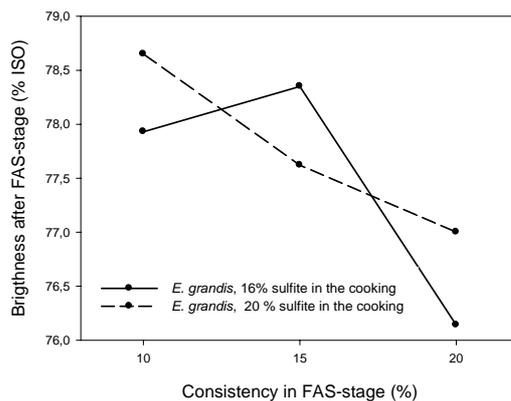


Figure 9 – Effect of consistency in FAS stage on Eucalypt pulp. Fixed conditions: Pulping: 170 °C, 16% and 20% sulfite dose, 150 min cooking time and licor: wood ratio 4:1L/kg; Bleaching: Q-stage: 3% consistency, 60 °C and pH 5.5 for 60 min; P-stage: 80 °C, 10% consistency, 2% silicate, 5% peroxide for 4 hours.

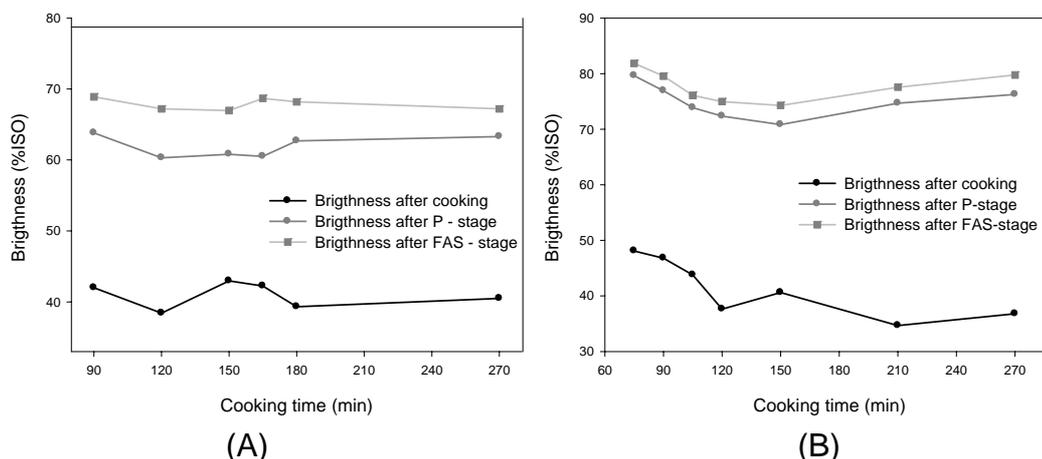


Figure 10 – Brightness as from cooking time on Parica (A) and Eucalypt (B) wood. Fixed conditions - Pulping: 170°C, 16% sulfite dose, 150 min cooking time and liquor ratio 4:1 L/kg; Bleaching: Q-stage: temperature: 60° C, 3% consistency for 60 min; P-stage: 80° C, 10% consistency, 5% peroxide, 2% silicate, 3% NaOH for 4 hours. FAS-stage: 99° C, 10% consistency, 0.5% FAS, 0.3% silicate, 0.4% NaOH for 30 minutes.

The major brightness differences between P and FAS stage was on Parica pulp. However, higher brightness were found for Eucalypt, as expected, because the wood used in this research comes from intensive genetic improvement for kraft pulp industry in Brazil. In the other hand, Parica is planted by direct seeding without any selection of genetic material for wood industry.

At the same bleaching conditions, Pereira (2009) got brightness around 83% ISO for *E. globulus* and Wenig (2009) around 67% ISO for the *P. abies* wood, while the brightness for Eucalypt and Parica wood were, respectively, 62 and 70% ISO (150 min cooking time). Area et al. (2001) attributed to the pink heart and the high content of extractives on the smallest brightness NSSC pulps of *E. grandis* compared to *E. vimialis*.

The Parica wood requires higher amounts of delignified chemical reagents during the pulping and the bleaching. Those will usually result in lower yields of purified pulp, greater difficulty of bleaching pulp, higher amounts of organic solids in black liquor waste and higher production costs (Colodette and Gomide 2007). The high ash content also contributed to the low brightness Parica pulp. The pulp brightness tends to reduce as it increases the storage time of chips and recommended the early use of those in the preparation of the pulp. The brightness produced from the paricá and eucalyptus chips could be a little higher if the time consuming to transport the logs from different parts of Brazil to Germany, where the cooking was done.

Acknowledgements

We would like to thank those who have been involved in these projects: Dr. Miguel Pereira (Concepcion University, Chile); M.Sc. Pedro Gustavo Ulisses Frederico (Brazil) and Dra. Angélica Carneiro (Federal University of Viçosa, Brazil); Wood Chemistry Laboratory, Hamburg University, Germany and Celulose and Paper Laboratory, Forest Department, Federal University of Viçosa, Brazil and CNPq and DAAD, Brazilian and Germany funding agencies.

4. Bibliography

Area MC, Felissia FE, Venica A, Valade JL (2001) NSSC process optimization: pulping. Pulps and spend liquors. Tappi J. Peer Reviewed Paper 84: 65-78.

Associação Brasileira dos Produtores de Floresta Plantada - ABRAF. Anuário estatístico. Aano de 2008. Brasília. 2009. 120p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Projeto de estruturas de madeira - NBR 7190. Rio de Janeiro: 1997. 107p.

Colodette J (2006) The importance of increasing Eucalyptus Syringyl/ Guaiacyl ratio (S/G) on overall pulp mill economic. Campinas: ArboGen Ltda.

Ferreira CR, Fantini Junior M, Colodette JL, Oliveira RC, Gomide JL, Carvalho AMML (2006) Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 2 – qualidade da celulose branqueada Kraft para papel de imprimir e escrever. Scientia Forestalis 71: 9-18.

Frederico PGU (2009) Effect of region and eucalyptus wood on charcoal properties. Dissertation. Federal University of Viçosa.

Gomide JL., Colodette JL. (2007) Wood Quality. In: Borén A. Forest Biotechnology. Viçosa, . 25-54p.

Hunger G (1983) Hemicellulosen in der Papierherstellung. Das Papier 37: 582-590.

Karlsson. H. Fiber Guide – Fiber analysis and process applications in the pulp and paper industry. Elanders Tofters. Sweden. 2006.

Lin SY. Dence CW (1992) Methods in lignin chemistry. Berlin: Springer-Verlag. 578p.

Mancorra C, Villar JC, Pett-Conil M (2000) Processo APMP en Madera de *E. globules*. Congreso Iberoamericano de Investigacion en Celulosa y Papel, Campinas.

Mokfienski A (2004) Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft. Dissertation, Federal University of Viçosa.

Patt R, Kordsachia O, Fehr J (2006) European hardwoods versus *Eucalyptus globulus* as a raw material for pulping. Wood Sci Technol, 40: 39-48.

Pereira. M. (2009) Herstellung Von Halb – und Vollzellstoffen aus *Eukalyptus globulus* Labill. und *Eukalyptus nitens* Maiden aus Chile mit alkalischen Sulfitlösungen. Dissertation, Univeristät Hamburg.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE. Scan Test Methods, 1993.

Solar R, Kacik F, Melcer I (1987) Simple Semi-micro Method for the Determination of O-Acetyl Groups in Wood and Related Materials. Nordic Pulp and Paper Research J. 4:139-141.

Storz C (2009). Herstellung von Hochausbeutefaserstoffen mittels diverser Sulfitverfahrensvarianten. Dissertation, Universität Hamburg.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI Test Methods, Atlanta: Tappi Press, 1998.

Vidaurre GB, Vital BR, Zaneti L, Colli, Naumann R. Paricá uma espécie promissora (2006). Revista da Madeira 97.

Wenig F (2009). Optimierung der Bleiche von Hybrid Fiber-Stoffen. Diplomarbeit., Universität Hamburg. Germany. Hamburg. may. 2009.

2. CONCLUSÕES GERAIS

As variações observadas na posição radial foram mais destacadas que as observadas entre as diferentes idades e posição longitudinal para as fibras e os vasos.

Não foi observada tendência clara conforme se aumentou a idade para a maioria dos parâmetros químicos.

A idade e a posição longitudinal afetaram a umidade da madeira, embora a posição radial não apresentasse nenhum efeito.

A posição radial não afetou a densidade da madeira de paricá sendo que a posição longitudinal e a idade afetam a densidade.

Apenas a contração longitudinal foi afetada pela idade e a posição radial afetou a contração longitudinal e tangencial. A contração volumétrica foi afetada apenas pela posição radial.

A idade afetou a maioria das propriedades mecânicas, no entanto, a posição ao longo afetou apenas quatro parâmetros.

Não houve correlação entre a idade e as contrações e entre a idade e a densidade básica. A posição ao longo do tronco apresentou correlação negativa com a densidade em apenas quatro parâmetros mecânicos. Dos 22 parâmetros mecânicos avaliados, dez se correlacionaram com a densidade.

A idade da árvore e a posição ao longo do tronco afetaram as propriedades termogravimétricas da madeira nos intervalos de temperatura onde ocorreram as maiores perdas de massa. A idade afetou o poder calorífico

tanto da madeira quanto do carvão, porém não afetou as propriedades do carvão vegetal.

As variáveis da polpação influenciaram mais a madeira de paricá que a de eucalipto. A madeira de paricá apresentou menores rendimentos, menor branqueabilidade e maior consumo de energia que a madeira de eucalipto.