

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *Cecropia palmata*
(IMBAÚBA) E *Eucalyptus grandis* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE
E PAPEL**

CAMYLA HECKLER PUPO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *Cecropia palmata*
(IMBAÚBA) E *Eucalyptus grandis* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE
E PAPEL**

CAMYLA HECKLER PUPO

Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU-SP

Janeiro – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO- BOTUCATU (SP)

P984e Pupo, Camyla Heckler, 1989-
Estudo comparativo das madeiras de cecropia palmata (imbaúba) e eucalyptus grandis para produção de celulose e papel / Camyla Heckler Pupo. - Botucatu : [s.n.], 2015
ix, 80 f. : ils. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo
Inclui bibliografia

1. Eucalyptus grandis. 2. Madeira - Qualidade. 3. Papel - Confeção química. 4. Celulose. I. Sansígolo, Cláudio Angeli. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *Cecropia palmata*
(IMBAÚBA) E *Eucalyptus grandis* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E
PAPEL"

ALUNA: CAMYLA HECKLER

ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO



PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN



PROF. DR. GUSTAVO VENTORIM

Data da Realização: 21 de janeiro de 2015.

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais Hilário Heckler e Geanini S. Heckler, a minha irmã Crislaine Baumgratz e seu esposo Nelson Baumgratz por todo apoio ao longo desses anos de estudo. Pelo esforço e sacrifício para minha formação acadêmica, por sempre acreditarem em mim e pela confiança depositada, mas principalmente pelo amor, carinho e atenção, que mesmo com toda distância nunca estiveram ausentes em minha vida.

Ao meu esposo Humberto Fabrizzi Pupo pelo amor, compreensão, paciência e toda ajuda e incentivo que me tem dado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grata a Deus pela minha vida e por todas as bênçãos derramadas sobre mim. Meu Pai, meu Amigo, meu Mestre, meu Tudo. Sempre ao meu lado ou me carregando em Seus braços poderosos quando estive fraca, permitiu que eu chegasse até aqui. Á Cristo toda honra, glória e louvor.

Aos meus pais, irmãos e familiares que acreditaram em mim e sempre me apoiaram com muito incentivo e amor.

Ao meu companheiro Humberto por toda ajuda, pelas palavras de incentivo, força e carinho.

À república Manga Rosa por terem me recebido e por terem sido uma família durante todos esses anos, pelo apoio, amizade e carinho de cada uma delas.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela oportunidade de estudo.

Ao meu orientador professor Cláudio Angeli Sansígolo por toda orientação, compreensão, amizade e conhecimentos transmitidos para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências florestais e aos técnicos de laboratório, Liliane e Lira, por toda ajuda na realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por conceder bolsa de estudo.

Os meus sinceros agradecimentos a todos os que acreditaram em mim e nesse trabalho e que me ajudaram de alguma forma. Meu muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 OBJETIVOS	8
5 REVISÃO DE LITERATURA	9
5.1. Imbaúba (<i>Cecropia palmata</i>)	9
5.2. Espécies para produção de celulose e papel	11
5.3. Qualidade da madeira para produção de papel	12
5.4. Influência da densidade básica da madeira no processo de polpação	13
5.5. Componentes químicos da madeira e sua influência na polpação Kraft	15
5.6. Polpação Kraft da madeira	17
5.7. Número Kappa	18
5.8. Propriedades físico-mecânicas da celulose	19
6 MATERIAL E MÉTODOS	21
6.1. Material	21
6.1.1. Identificação da <i>Cecropia palmata</i>	21
6.1.2. Caracterização da área de coleta do material	22
6.2. Métodos	23
6.2.1. Amostragem das árvores	23
6.2.2. Determinação dos parâmetros dendrométricos das árvores	25
6.2.3. Densidade básica da madeira	26
6.2.4. Composição química da madeira	28
6.2.5. Deslignificação Kraft da madeira	29
6.2.6. Classificação e morfologia das fibras	32
6.2.6.1. Classificação das fibras em Bauer McNett	32
6.2.6.2. Análise morfológica das fibras em FQA (Fiber Quality Analyzer)	33
6.2.7. Refino e propriedades físico-mecânicas da celulose	35
6.2.8. Análise estatística	40
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
7.1. Parâmetros dendrométricos	41
7.2. Análise física da Madeira	44

7.3.	Análise química da madeira	46
7.4.	Polpação Kraft.....	49
7.5.	Análise morfológica das fibras.....	55
	7.5.1. Classificação das fibras em Bauer McNett.....	55
	7.5.2. Morfologia das fibras em FQA (Fiber Quality Analyzer).....	57
7.6.	Refino e propriedades físico-mecânicas da polpa	59
7.7.	Considerações finais.....	64
8	CONCLUSÃO	66
9	RECOMENDAÇÕES	67
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	APÊNDICE	76

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. a) Material armazenado no acervo do Herbário BOTU, utilizado para identificação da espécie; b) parte apical da planta com folhas jovens de coloração avermelhada, característico da <i>C. palmata</i>	22
Figura 2. a) Mapa do estado do Mato Grosso com a localização do município Peixoto de Azevedo destacado em vermelho; b) Croqui da área de coleta do material localizado no município Peixoto de Azevedo.....	23
Figura 3. Posição de coletas nos discos das árvores.....	24
Figura 4. Discos das árvores cortadas em ângulo de 90° com as respectivas utilizações de cada cunha.	25
Figura 5. Determinação da densidade básica através do método de balança hidrostática; a) cunha de madeira de molho em água para atingir o ponto de saturação; b) peso ao ar das cunhas; c) peso imerso das cunhas.	27
Figura 6. Preparo de amostras para análise da composição química da madeira; a) moinho Wiley para transformar palitos de madeira em serragem; b) peneiras classificatórias de serragem para obtenção da fração 40/60 Mesh; c) palitos de madeira a serem reduzidos a serragem; d) serragem classificada.....	28
Figura 7. Análise química da madeira; a) aparelho sebilin com seis placas aquecedoras para determinação da lignina; b) aparelho termostático de banho-maria para determinação da holocelulose; c) holocelulose da <i>Cecropia palmata</i>	29
Figura 8. Cozimento Kraft; a) digestor rotativo; b) cápsulas armazenadoras dos cavacos; c) preparação dos cavacos no digestor para a deslignificação Kraft; d) lavagem dos cavacos após o cozimento para retirada do licor negro.....	30
Figura 9. Determinação do número Kappa.	32

Figura 10. Classificador de fibras em Bauer McNett, constituída por cinco tanques em cascatas, equipado com peneiras em cada um dos compartimentos e água corrente para a passagem das fibras.	33
Figura 11. Refino da celulose; a) moinho centrífugo Jokro Mühle - REGEMED-MJ/K6; b) celulose sendo preparada na panela de refino; c) panelas sendo anexadas no moinho.	35
Figura 12. Equipamento para determinação do grau Schopper-Riegler- REGMED-SR-A.	36
Figura 13. Formação do papel; a) máquina formadora de papel tipo Köthen rapid - REGMED-F/SS-2; b) papel de celulose marrom de <i>Cecropia palmata</i> sendo formada.	36
Figura 14. Análises físico-mecânicas do papel; a) corpos de prova; b) determinação da espessura das folhas; c) índice de rasgo; d) índice de arrebentamento/estouro; e) propriedades de tração; f) índice de resistência ao ar.	39
Figura 15. Fluxograma da análise estatística.	40
Figura 16. Resultados individuais das árvores com os parâmetros dendrométricos.	43
Figura 17. Densidade básica individual das árvores.	46
Figura 18. Resultados individuais das árvores para a composição química da madeira.	48
Figura 19. Quantidade de rejeitos após cozimento da imbaúba com 14% de álcali.	50
Figura 20. Resultados individuais das árvores para a polpação Kraft com 16% de álcali ativo.	54
Figura 21. a) folhas de papel da <i>C. palmata</i> ; b) corpo de prova após teste de arrebentamento/estouro	63

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Influência da densidade básica da madeira no processo de polpação.....	15
Tabela 2. Média da composição química para madeiras de folhosas segundo Klock et al. (2005).	16
Tabela 3. Condições do cozimento Kraft.	29
Tabela 4. Normas utilizadas nas propriedades físico-mecânicas da celulose.....	37
Tabela 6. Média dos parâmetros dendrométricos das espécies.	41
Tabela 7. Produtividade do <i>Eucalyptus</i> com diferença cronológica de 40 anos, por Foelkel (2009a).....	44
Tabela 8. Densidade básica média das árvores.....	44
Tabela 9. Resultado médio da composição química das árvores.	46
Tabela 10. Resultados médios da polpação Kraft da <i>C. palmata</i> utilizando 14% de álcali ativo.	49
Tabela 11. Resultados médios da polpação Kraft utilizando 16% de álcali ativo.....	51
Tabela 12. Classificação das fibras da polpa de <i>Cecropia palmata</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> em classificador Bauer McNett.	55
Tabela 13. Resultados médios da morfologia das fibras de celulose Kraft das espécies <i>Cecropia palmata</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	57
Tabela 14. Propriedades de resistência físico-mecânicas da polpa de <i>Cecropia palmata</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	60
Tabela 16. Resumo dos resultados com uso de sinais positivos e negativos (+ e -) para representar a espécie que obteve melhor desempenho em cada parâmetro de qualidade. ..	65

1 RESUMO

Muito há que ser estudado sobre as espécies amazônicas, dentre tantas variedades podem haver espécies com excelentes características para produção de papel e celulose que ainda não tiveram seu potencial tecnológico revelado. A *Cecropia palmata* é uma espécie nativa da Amazônia, que inicialmente apresenta excelentes características para produção de polpa celulósica. Com isso, este trabalho teve por objetivo o estudo da qualidade da madeira nativa da Amazônia *Cecropia palmata* para produção de papel e celulose, por meio de estudo comparativo com a espécie *E. grandis*, com o intuito de fornecer às indústrias de produção uma nova opção de matéria-prima fibrosa. Foram selecionadas 10 árvores e determinado os parâmetros dendrométricos, densidade básica e composição química (holocelulose, lignina e extrativos). Na polpação Kraft, foram necessários dois cozimentos, (14 e 16% álcali ativo). Com a celulose foi determinado o rendimento, teor de rejeitos, Kappa e consumo específico de madeira (CEM). As fibras de celulose foram classificadas em classificador Bauer McNett, a morfologia foi determinada no FQA (Fiber Quality Analyzer) e a celulose foi refinada em moinho centrífugo Jokro Mühle. Testes físico-mecânicos foram realizados nos papéis de celulose refinada. A *C. palmata* mostrou baixa produtividade e elevada percentagem de casca (16,1%), com diferença estatística em todos os parâmetros dendrométricos quando comparados com o *E. grandis*. A densidade básica foi considerada moderadamente leve (0,389 g/cm³) e inferior ao *E. grandis* (0,455 g/cm³). Na composição química a espécie nativa apresentou melhores resultados que o *E. grandis*, com menor teor de lignina (20,81%) e elevado teor de holocelulose (76,51%). Porém o teor de extrativos para a *C. palmata* mostrou-se superior (4,05%). Na polpação a imbaúba apresentou melhores resultados no segundo cozimento (16% a.a) em relação ao primeiro.

O rendimento depurado chegou a 49,89%, com baixos teores de rejeitos e não difere estatisticamente do *E. grandis*. O número Kappa (18,2) foi inferior ao de *E. grandis* (19,1) e o CEM superior 5,26 m³/t cel. a.s. As fibras de *C. palmata* são consideradas mais longas que as de *E. grandis*. A celulose de *C. palmata* refina mais rapidamente e os índices de rasgo e resistência ao ar foram considerados elevados, enquanto o índice de estouro e tração mostrou-se inferior ao *E. grandis*. Contudo, conclui-se que a *C. palmata* apresentou resultados satisfatórios na polpação Kraft (rendimento, teor de rejeitos e número Kappa). Seu elevado teor de holocelulose, baixo teor de lignina, elevado teor de finos, maior “coarseness” e menor população fibrosa, favorecem a espécie. As fibras mais longas da celulose e os altos índices de rasgo permitem indicá-la para a produção de papéis para embalagens, que exigem maior resistência das fibras. Entretanto, a imbaúba apresentou baixa produtividade, elevado teor de extrativos e alto CEM.

Palavras-chave: Polpação Kraft, fibras, embaúba, densidade básica, nativa da Amazônia.

COMPARATIVE STUDY OF THE WOODS *Cecropia palmata* (imbaúba) and *Eucalyptus grandis* FOR PRODUCTION OF PULP AND PAPER. Botucatu, 2015. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CAMYLA HECKLER PUPO

Adviser: CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

2 SUMMARY

Much remains to be studied on the Amazonian species, among many varieties can be species with excellent characteristics for the production of pulp and paper that have not yet had their technological potential revealed. The *Cecropia palmata* is native to the Amazon, which initially presents excellent characteristics for pulp production. Therefore, this study aimed to study the quality of the native wood *Cecropia palmata* Amazon for the production of pulp and paper, through a comparative study with the species *E. grandis*, in order to provide the production industries a new option fibrous raw material. Were selected 10 trees and determined the dendrometric parameters, basic density and chemical composition (holocellulose, lignin and extractives). In Kraft pulping, required two cooks, (14 and 16% active alkali). With cellulose was determined the yield, reject content, Kappa and specific wood consumption (SWC). The cellulose fibers were classified into Bauer McNett classifier, the morphology the fibers were determined on FQA (Fiber Quality Analyzer), and the pulp was refined in Jokro Mühle centrifugal grinder. Physical and mechanical tests were carried out in refined cellulose papers. *C. palmata* showed low productivity and high proportion of bark (16.1%), with statistically significant differences in all parameters dendrometric compared with the *E. grandis*. The

basic density was considered moderately light (0.389 g/cm^3) and less than the *E. grandis* (0.455 g / cm^3). In the chemical composition of native species was more effective than *E. grandis*, with lower lignin content (20.81%) and high holocellulose content (76.51%). But the extractives content for *C. palmata* was higher (4.05%). In the pulping imbaúba showed better results in the second cooking (16% active alkali) relative to the first. The screened yield reached 49.89%, with low levels of waste and does not differ statistically from the *E. grandis*. The Kappa number (18.2) was lower than in *E. grandis* (19.1) and the higher SWC $5.26 \text{ m}^3/\text{t cel. o.d.}$. The *C. palmata* fibers are considered longer than the *E. grandis*. The cellulose of *C. palmata* refines faster and tear indices and air resistance were considered high, while the bursting index and traction was lower than the *E. grandis*. However, it is concluded that *C. palmata* achieved satisfactory results in the Kraft pulping (yield, reject content and Kappa number). Its high holocellulose content, low lignin content, high fines content, most coarseness and lower fiber population, favors the specie. Longer fibers of cellulose and indexes high tear allow using it for the production of packaging paper, which require greater strength of the fibers. However, imbaúba showed low productivity, high content of extractives and high SWC.

Keywords: Kraft Pulping, fiber, embaúba, basic density, native to the Amazon.

3 INTRODUÇÃO

O papel é um dos materiais mais importantes utilizados em nosso cotidiano. O mercado de papéis disponibiliza papéis das mais variadas utilidades, tipos e performances, num processo constante de evolução e aprimoramento.

Historicamente o mercado do papel registra mudanças frequentes e significativas determinadas por aspectos econômicos, sociais, filosóficos ou até mesmo políticos/ideológicos que acabaram por delinear a sua trajetória (GONÇALVES, 2007). Como exemplo dessas mudanças, tem-se os inúmeros tipos de matérias-primas já utilizadas na produção de papel ao longo do tempo. Os primeiros papéis foram produzidos com fibras vegetais de espécies não arbóreas, até que se conhecesse a madeira, que é considerada hoje, pelas indústrias de produção a melhor matéria-prima para celulose e papel.

O Brasil há décadas já produz seu próprio papel e faz uso quase que exclusivamente da matéria-prima madeira. Porém, mesmo possuindo a maior biodiversidade de espécies do mundo, principalmente concentrada na região Amazônica, pouco ou nada dela é utilizado para produção de polpa. A matéria-prima para essa produção é proveniente de áreas de reflorestamentos com pouquíssima variedade de espécies, sendo essas, espécies exóticas, como por exemplo, o *Eucalyptus* e *Pinus*, que hoje são consideradas as principais fontes de fibras para a fabricação de celulose, principalmente o *Eucalyptus* que é destaque no Brasil e no mundo.

O *Eucalyptus* aos poucos ganhou seu espaço, tornando-se a matéria-prima dominante para produção de papel no Brasil. Isso se deve à sua excelente adaptação ao clima e solo, à alta produtividade, às excelentes respostas aos melhoramentos genéticos e à qualidade de sua madeira. Porém, muitas pesquisas e melhoramentos

genéticos foram realizados ao longo dos anos para que se tivessem hoje esses excelentes resultados.

O mesmo trabalho pode, em princípio, ser feito com outras espécies nativas ou não, que inicialmente apresentarem bons resultados nos parâmetros de qualidade exigidos pelas indústrias.

Muito há que ser estudado sobre as espécies amazônicas. Em sua grande biodiversidade pode-se encontrar madeiras desde a mais baixa até a mais alta densidade, coloração de diferentes tipos e tonalidades, com diferentes graus de dureza, com percentagens diversas em sua composição química, de lento a rápido crescimento, tortuosas e eretas; enfim, dentre tantas variedades podem haver espécies com excelentes características para produção de papel e celulose que ainda não tiveram seu potencial tecnológico revelado.

Sobre o uso de diferentes espécies para produção de papel, Barrichelo e Foelkel (1975) relatam que o ideal seria possuir à disposição algumas outras espécies de madeiras, o que permitiria maiores possibilidades de misturas de fibras diferentes para variar a amplitude de produtos finais. E mais interessante ainda seria encontrar essências de florestas nativas que em virtude de seu rápido desenvolvimento e a boa qualidade de celulose pudessem suplementar o fornecimento de madeira que é obtido a partir das espécies exóticas.

A *Cecropia palmata*, em estudo na presente pesquisa, também conhecida como imbaúba ou embaúba, é uma espécie nativa da Amazônia com excelentes características da madeira e de manejo. Espécies do gênero podem ser utilizadas para diferentes fins. Corrêa (1984) afirma que a madeira de imbaúba é muito leve e pode ser empregada para confecção de flutuadores, jangadas, caixotes, palito de fósforo, instrumentos musicais, lenha e carvão para pólvora. A casca fornece boa fibra, sendo utilizada por indústrias para a confecção de cordas e as folhas são empregadas como lixa para polir madeira. Além disso, alguns estudos apontam que a imbaúba também é utilizada como planta medicinal e para fabricação de painéis aglomerados (DI STASI; HIRUMA-LIMA, 2002; IWAKIRI et al., 2010).

Além de muito útil, a madeira de imbaúba apresenta baixa densidade básica, coloração clara e maciez ao corte, características que tornam a madeira uma possível opção de matéria-prima para celulose e papel. As árvores também apresentam rápido crescimento, troncos eretos e sem ramificações, são espécies pioneiras

de vegetação secundária que se desenvolvem facilmente em áreas com luminosidade e resistem a situações críticas de déficit hídrico e espécies do gênero são encontradas em todos os biomas brasileiros, o que indica fácil adaptação a diferentes tipos de clima e solo, fatores que favorecem o manejo da espécie com possível uso em plantios florestais.

Sendo assim, considerando as características favoráveis da espécie e a viabilidade do uso de sua madeira para variados fins, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar sua qualidade para a produção de celulose e papel por meio de um estudo comparativo com a espécie de *Eucalyptus grandis*, com o intuito de proporcionar as indústrias de produção, uma nova opção de matéria-prima fibrosa. De modo que, os resultados dessa pesquisa estimulem novos estudos com a espécie para uso da mesma em plantios florestais, com melhoramentos genéticos, se preciso, pois a mesma já apresenta excelentes características que facilitam o manejo e uso da madeira.

4 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de *Cecropia palmata* (imbaúba) como matéria-prima para celulose e papel por meio de um estudo comparativo com a espécie de *Eucalyptus grandis*.

Os objetivos específicos foram:

- determinar os parâmetros dendrométricos das árvores, as características físicas e a composição química da madeira;
- produzir celulose Kraft da madeira e analisar sua qualidade por meio de determinações dos rendimentos bruto e depurado, teor de rejeitos, número Kappa e consumo específico de madeira;
- confeccionar folhas de celulose, com posterior determinação de suas propriedades de resistências físico-mecânicas, classificação e morfologia das fibras.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Imbaúba (*Cecropia palmata*)

Da família Urticaceae (ROMANIUC NETO et al., 2009), o gênero *Cecropia* apresenta-se amplamente distribuído na região neotropical, essa região compreende a América Central, parte sul do México e da península da Baja Califórnia, o sul da Flórida e as ilhas do Caribe e a América do Sul. Há possivelmente mais de 100 espécies, sendo que pelo menos 15 estão presentes na Amazônia brasileira (BERG, 1978).

Segundo Martins e Pirani (2010) a *Cecropia* é o gênero da Urticaceae que mais se destaca na flora brasileira. É uma das primeiras espécies arbóreas a se estabelecer em áreas alteradas pela atividade humana, sendo típica de formações secundárias ou clareiras no interior de florestas em todo Brasil (VÁLIO; JOLY, 1979; GAGLIOTI, 2010).

Desse modo, a *Cecropia* spp. é encontrada em grande abundância na região amazônica, já que atividades como o desmatamento têm aumentado ao longo dos últimos 20 anos e ocasionado abertura da floresta, perda de biodiversidade e formação de vegetação secundária (FEARNSIDE, 2005; PERZ; SKOLE, 2003). Rodrigues et al. (2004), ao estudarem a regeneração de uma área degradada no estado do Mato Grosso, observaram que a *Cecropia* está entre as espécies encontradas com maior frequência nas três áreas de estudo. Resultado semelhante pôde ser encontrado por Rodrigues et al. (2007) que, ao comparar a estrutura de florestas secundárias na Amazônia Oriental, observaram a *Cecropia palmata* entre as quatro espécies com maior abundância.

A *Cecropia palmata* é conhecida popularmente como imbaúba ou embaúba e apresenta floração de março a abril e frutificação de março a maio (MUNIZ,

2008; TAYLOR, 2003). É facilmente reconhecida no campo por suas folhas simples, alternas e palmatilobadas, que lembram uma mão aberta, sendo a face inferior da folha avermelhada (CARVALHO et al., 2012). Produz grande quantidade de sementes e frutos anualmente, sendo muito apreciados pela fauna silvestre que espalha as sementes por toda floresta onde vivem (MENDONÇA, 2011).

Sua altura pode variar de 5-30m, dependendo da espécie (BERG, 1978). Espécies do gênero são conhecidas por possuírem madeira muito leve e esbranquiçada, sendo o tronco ereto e sem ramificações (CORREA, 1984; BARRICHELO et.al., 1975), características essas que beneficiam na produção de papel e na coleta das árvores.

Apesar de abundante na natureza, a *Cecropia* tem fraca representação nos herbários e por isso o conhecimento sobre ela ainda é fragmentário (MARTINS e PIRANI, 2010), principalmente no que se refere à produção de papel e celulose. Overbeck (1968) *apud* Barrichelo e Foelkel (1975), em trabalho sobre a obtenção de pastas celulósicas de madeiras da Amazônia, o autor observou que a madeira de embaúba fornecia celulose de boa resistência e fácil branqueabilidade. Paula (2003), em um estudo com sete espécies da região amazônica afirma, com base em estudos anatômicos e de densidade, que a *Cecropia palmata* pode ser utilizada na produção de papel. Outros autores como Ribeiro (2010) e Fonseca et al. (2005) confirmam o mesmo.

Segundo Loureiro e Silva (1968), citado em Barrichelo e Foelkel (1975), os usos mais comuns em espécies de *Cecropia* são: caixas, celulose, palitos de fósforo e quando queimada, o carvão é recomendado como excelente para a fabricação de pólvora. Além dessas utilidades, algumas espécies do gênero também podem ser utilizadas para fins medicinais, como enfatizado por Almeida et al. (2012), Taylor (2003) e Mendonça (2011).

A imbaúba tem um importante papel para a flora e fauna. É responsável por grande parte da regeneração de áreas degradadas e clareiras em florestas e seus frutos servem de alimento para muitas espécies de aves e mamíferos. Portanto, o ideal seria que houvesse plantios florestais com a *Cecropia*, para que o manejo das árvores seja feito sem prejudicar as florestas nativas e sua fauna. Não foram encontrados no presente estudo trabalhos que mostram o desempenho da espécie a plantios florestais. Mas autores citam algumas características das árvores que a tornam possível ao uso em plantios, como por exemplo: crescimento muito rápido, tronco ereto e sem ramificações (o que facilitaria

no manejo das árvores), espécie que se desenvolve com facilidade em ambientes com alta luminosidade, produz grande quantidade de sementes e é tolerante a períodos secos (MENDONÇA, 2011; OLIVEIRA E CARVALHO, 2008).

5.2 Espécies para produção de celulose e papel

O *Eucalyptus* é o gênero que apresenta maior destaque para produção de papel, no Brasil e no mundo. Esse grande gênero de plantas, que inclui cerca de 700 espécies, ocorre naturalmente em ambientes secos e úmidos da Austrália. Suas plantações cobrem mais de 20 milhões de hectares em todo o mundo. No Brasil os eucaliptos começaram a ser plantados entre 1825 a 1868. Já de início percebeu-se que espécies diferentes forneciam madeiras para fins distintos como: lenha, carvão vegetal, postes, dormentes, vigas, celulose, papel, óleos essenciais, etc. Atualmente, encontra-se em espécies desse gênero a principal matéria-prima fibrosa para produção de polpa celulósica no país (COTTERILL; MACRAE, 1997; FORRESTER; SMITH, 2012; FOELKEL, 2013).

O eucalipto é uma espécie de crescimento muito rápido, com alta produção de biomassa, por isso é muito estudada em todo o mundo. Dentre as espécies desse gênero, destaca-se o *Eucalyptus grandis*, que é muito utilizada na produção de papel e celulose, devida sua produtividade e qualidade da madeira (PARK et al., 2012; BARREIROS et al., 2007).

Além de apresentar alta produtividade com elevado incremento volumétrico por hectare, o *Eucalyptus grandis* ainda apresenta ramificações finas, uma boa desrama natural, baixos teores de casca e características muito boas de polpação. Estudos comparativos com outras espécies de eucalipto no Brasil, sempre apontam para o *Eucalyptus grandis* como uma espécie com características tecnológicas muito boas para obtenção de polpa (OLIVETTI NETO, 2002).

Em geral, a espécie apresenta densidade básica entre 0,40 a 0,48 g/cm³, as fibras são consideradas curtas e em grande quantidade, os teores de lignina são maiores que 25% e os teores de hemiceluloses são considerados médios (FOELKEL, 2009a).

Apesar de o eucalipto ser a espécie de maior destaque na produção de papel, outras espécies podem ser utilizadas para a produção. Segundo Barrichelo e Brito (1979), qualquer matéria-prima fibrosa é passível de ser utilizada na produção de celulose, ao ponto de vista tecnológico. Sendo assim, alguns pesquisadores têm estudado espécies

nativas para que as indústrias de produção possam ter conhecimento de outras matérias-primas.

Frazão (1990) realizou um estudo das características tecnológicas das madeiras e das polpas Kraft de cinco espécies da família Moraceae, nativas da Amazônia, e concluiu que as espécies amapa e embaubarana foram as que produziram polpas Kraft de melhores características tecnológicas.

Barrichelo e Foelkel (1975) estudaram quatro espécies florestais nativas para obtenção de celulose: bracatinga (*Mimosa Bracatinga*), embaúba (*Cecropia sp*), caixeta (*Tabebuia Cassinoides*) e boleira (*Joannesia princeps*) e concluíram que essas fornecem celulose de qualidade razoável, podendo ser utilizadas para fabricação de papéis dos tipos escrita e impressão.

Em estudo mais recente, Paula (2003) estudou a caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vista à produção de energia e papel. A autora conclui que cinco das sete espécies com base nas características anatômicas e na densidade, podem ser utilizadas para polpa e papel, sendo essas: *Bellucia grossularioides*, *Cecropia palmata*, *Duguetia cauliflora*, *Eschweilera matamata* e *Parkia multuijuga*.

Os autores ressaltam ainda a importância de um estudo aprofundado das espécies amazônicas, objetivando a possibilidade de sua adequada utilização.

5.3 Qualidade da madeira para produção de papel

As fibras usadas na fabricação de celulose e papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias-primas vegetais, sendo muitas as fibras vegetais usadas na fabricação de polpa desde a sua invenção. Inicialmente, foram utilizadas fibras que necessitavam menor processamento, como trapos, fibras proveniente de linho e também de algodão. No entanto, o aumento do consumo de papel ao longo dos anos levou à busca por novas fontes de fibras vegetais, encontrando-se na madeira uma excelente matéria-prima, que proporciona características desejadas ao papel fabricado, sendo disponível em grande quantidade, com exploração econômica e facilmente renovável (BETINI; GALATTI, 1995).

A qualidade da madeira é um fator de extrema importância quando o objetivo é a produção de polpa celulósica com alto rendimento industrial, baixo custo e elevada qualidade. Com relação ao processo de polpação, a grande maioria das variáveis já

foi bem estudada sabendo-se que este sofre alterações em função da matéria-prima (GOUVÊA et al., 2009). Essas variações podem ser intensas, mesmo quando se considera uma mesma espécie, sendo de grande importância que essas sejam mínimas para se evitar distúrbios no processo e para que possam ser garantidos padrões homogêneos no produto final (OLIVETTI NETO, 2002).

De acordo com Barrichelo e Brito (1979) vários fatores devem ser levados em consideração ao se analisar a qualidade da madeira como matéria-prima para produção de papel e celulose, sendo estes: características físicas (como a densidade), anatômicas, morfológicas e químicas, assim como percentagem de fibras, disponibilidade da matéria-prima, possibilidade de regeneração a prazos curtos ou médios e custos.

5.4 Influência da densidade básica da madeira no processo de polpação

Dentre os parâmetros considerados importantes para se estabelecer a qualidade da madeira com vista à sua utilização para celulose e papel destaca-se a sua densidade básica. O custo da madeira produzida, o rendimento do processo industrial e a qualidade da polpa são influenciados pela densidade básica da madeira (SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004).

Santos (2006) afirma que a densidade básica pode ser considerada como um índice universal para avaliar a qualidade da madeira por causa da sua facilidade de determinação e pelas excelentes relações com as utilizações da madeira. A densidade básica é a relação entre a massa da madeira completamente seca em estufa, com o seu respectivo volume saturado, ou seja, acima do ponto de saturação das fibras (PSF).

Por ser de fácil determinação e de apresentar boa correlação com as propriedades mecânicas da madeira, a densidade básica, é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo (PANSHIN e ZEEUW, 1970). Para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da densidade básica fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimento do processo e geralmente está associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa (QUEIROZ et al., 2004).

Quando a densidade é elevada, há maior dificuldade de picagem das toras, ocasionando maior desgaste das facas picadoras, além de maior proporção de cavacos de maiores dimensões, dificultando na impregnação do licor, resultando em menor produção de polpa depurada e com um maior teor de rejeitos na polpação (IMPORTÂNCIA, 2001). Em madeiras de densidade baixa, o efeito é contrário, segundo

Resquin et al. (2006) valores menores de densidade básica proporcionam maior facilidade de penetração do licor de cozimento.

A qualidade da polpa e operações posteriores ao cozimento são também afetadas pela densidade básica da madeira. Fibras com paredes grossas deformam-se menos quando sujeitas a vácuo ou prensagem do que as fibras de menor espessura de parede, o que favorece a drenabilidade, podendo ser observadas altas taxas de drenagem. Fibras com paredes finas, provenientes de madeiras de baixa densidade, dão uma celulose e um papel com maior resistência à tração, pela flexibilidade das mesmas, bem como pelo colapso das fibras quando expostas a vácuo, com maior interligação entre fibras por maior superfície de contato (OLIVETTI NETO, 2002).

Fantuzzi Neto (2012) observou uma boa correlação entre a densidade e o consumo específico da madeira, demonstrando a importância da densidade no processo de produção de celulose, uma vez que madeiras mais densas proporcionam menor consumo específico de madeira (m^3/t celulose), o que favorece a produção de celulose no digestor e a manutenção de volume da pilha de cavacos nas fábricas.

Queiroz et al. (2004) precisaram usar álcali ativo substancialmente mais elevada na madeira de alta densidade que na madeira de baixa densidade. De acordo com os autores houve uma diferença de 1,9% de álcali ativo para obter o mesmo número Kappa, esta poderia ser explicada pela diferença de densidade entre as duas espécies de Eucaliptos.

Santos e Sansígolo (2007) observaram que a madeira do clone de *Eucalyptus* de menor densidade apresentou valores superiores de extrativos totais (+0,6%), lignina total (+1,9%), lignina insolúvel (+1,2%), lignina solúvel (+0,8%) e menor teor de holocelulose (-2,5%), assim como, menor número de revoluções no moinho PFI para atingir o índice de tração de 70 N.m/g, menor grau Schopper Riegler para atingir esse nível de tração e produziu folhas com valores mais elevados de volume específico e opacidade quando comparada com a madeira do clone de maior densidade. Devido a essas características os autores puderam concluir que a polpa do clone de menor densidade foi mais indicada para a fabricação de papéis de imprimir e escrever.

Para melhor compreensão do modo pelo qual a densidade básica afeta na polpação Kraft, a Tabela 1 apresenta as principais influências de alta e baixa densidade no processo.

Tabela 1. Influência da densidade básica da madeira no processo de polpação.

Tipos de densidade	Influência na polpação Kraft
Madeiras de alta densidade	Maior dificuldade de picagem dos cavacos Maior desgaste das facas picadoras Cavacos de maiores dimensões Dificuldade na impregnação do licor Menor produção de polpa depurada Maiores teores de rejeitos Menor consumo específico de madeira Maior consumo de álcali
Madeiras de baixa densidade	Maior facilidade de picagem dos cavacos Menor desgaste das facas picadoras Menor custo de picagem dos toretes Menores rendimentos volumétricos do digestor Cavacos de menores dimensões Facilidade de impregnação do licor Maior consumo específico de madeira Menor consumo de álcali Menor tempo de refino da celulose Maior peso específico aparente da folha de celulose Papéis com maior resistência físico-mecânica

Em matérias-primas normalmente empregadas para produção de polpa são utilizadas densidades entre 0,450 a 0,650 g/cm³ (AZZINI et al., 1996). Em um estudo de dez clones de *Eucalyptus* do Brasil utilizados por indústrias de celulose e papel, Gomide et al. (2005) verificaram que na seleção de clones, empresas nacionais de celulose têm priorizado densidades básicas próximas a 500 kg/m³, com tendência para densidades ligeiramente inferiores.

A preferência das fábricas por intervalos específicos de densidade básica (baixa, média ou alta) acaba sendo, ditada por fatores como restrições operacionais e exigências de desempenho do produto por parte dos clientes. É por essa razão que diferentes fornecedores de celulose de mercado acabam tendo polpas que não são similares em performance ou em qualidade (FOELKEL, 2009a).

5.5 Componentes químicos da madeira e sua influência na polpação Kraft

A utilização intensiva da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas

propriedades. Por ser um elemento orgânico heterogêneo, composto basicamente de celulose, polioses, lignina e extrativos, apresenta uma versatilidade enorme de usos para obtenção de uma série de produtos (KLOCK, 2000).

Silva (2010) estudando os componentes químicos da madeira, afirmou que os componentes estruturais da madeira (celulose, hemiceluloses e a lignina) constituem a parede celular de todas as madeiras e cuja remoção da parede celular implica a utilização de processos químicos ou mecânicos com elevada quantidade de energia que alteram fundamentalmente as propriedades das células. Já os componentes não estruturais, (deles fazem parte as substâncias de massa molecular pequena como os extrativos e substâncias minerais, vulgarmente designadas por cinzas) encontram-se no lume das células e nos espaços vazios existentes na estrutura da madeira, podendo ser removidos pela utilização de solventes de polaridade adequada.

Os componentes químicos podem apresentar grande variação de espécie para espécie. Gomide et al. (2005) ao estudarem as características tecnológicas dos melhores clones de eucalipto do Brasil, observaram que três espécies de três procedências diferentes apresentaram variações consideráveis nos componentes químicos da madeira, onde os teores de extrativos variaram de 1,76 até 4,13%, lignina insolúvel de 22,4 até 28,6% e as holoceluloses de 64,5 á 70,2%.

A Tabela 2 apresenta a composição química aproximada das madeiras de folhosas apresentada por Klock et al. (2005).

Tabela 2. Média da composição química para madeiras de folhosas segundo Klock et al. (2005).

Componente da madeira	Média para folhosas (%)
Celulose	45 ± 2%
Polioses	30 ± 5%
Lignina	20 ± 4%
Extrativos	3 ± 2%

Os componentes químicos da madeira têm influencia direta nos resultados da polpação Kraft. Segundo Foelkel (2013), o teor e tipo de lignina, extrativos e as holoceluloses afetam e muito o rendimento em produção de polpa, o consumo específico de álcali no cozimento e o consumo específico de madeira por tonelada de celulose produzida.

Ferreira et al. (2006), analisando as características físico-químicas da madeira e seus comportamentos no cozimento Kraft de 12 clones de *Eucalyptus*, concluíram que o rendimento da polpa apresentou correlação positiva com o teor de celulose e negativa com o teor lignina da madeira.

Rosa (2003) ao estudar a influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose Kraft, concluiu que o uso da madeira com baixo teor de lignina oferece maiores rendimentos, menor demanda de álcali ativo, redução na degradação das cadeias de celulose e melhor preservação das hemiceluloses, menor geração de sólidos minerais no licor negro que é enviado à recuperação, bom desempenho no refino e papeis com boas qualidades.

5.6 Polpação Kraft da madeira

Entre os processos de obtenção de celulose, o processo Kraft é o mais difundido mundialmente, devido sua versatilidade em termos de matéria-prima, qualidade da polpa e principalmente à possibilidade de recuperação dos reagentes utilizados (FRINHANI; DALTOÉ, 2012).

Segundo Foelkel (2009b), o processo baseia-se na utilização de uma solução alcalina forte, em equipamento chamado digestor, onde esse licor Kraft tem por finalidade a deslignificação da madeira de forma que haja individualização das fibras.

Este processo originou-se com base no processo soda pela introdução de sulfeto de sódio (Na_2S), que possibilitou diminuir a carga alcalina e melhorar as características da celulose (GOMIDE et al., 1987). Uma das características principais da polpação Kraft é a produção de polpas com alta qualidade da celulose obtida. Essa qualidade é avaliada basicamente pelo teor de lignina residual (número Kappa), grau de degradação dos carboidratos (viscosidade) e propriedades físico-mecânicas. Porém, essas características podem sofrer alterações de acordo com algumas variáveis do processo, como carga alcalina, tempo e temperatura de deslignificação (SILVA JUNIOR, 1994).

Como todo processo, o Kraft tem suas vantagens e desvantagens. Segundo Gomide et al. (1980), produz papel com excelentes propriedades de resistência, além de possibilitar a utilização de vários tipos de madeiras e fornecer um excelente sistema de recuperação de reagentes químicos e energia. Porém, uma grande desvantagem é a utilização ineficiente de álcali, pois consome grande parte na solubilização de polissacarídeos e neutralização dos ácidos orgânicos formados, utilizando apenas 30% para degradação da lignina. Outro ponto negativo no processo é que devido o

uso do sulfeto de sódio, ocorre a formação de compostos que são corrosivos e responsáveis pelo mau cheiro no processo de deslignificação. Silva et al. (2001) afirmam que a indústria de celulose está cada vez mais focada em maior eficiência de deslignificação do processo Kraft, devido a pressões ambientais e de mercado. Os conceitos de deslignificação seletiva, com objetivo principal de aumentar o rendimento sem prejudicar a qualidade da polpa, alcançado pela uniformização da carga de álcali e diminuição da temperatura no digestor, são exemplos de tecnologias utilizadas para a produção de polpas com baixo impacto ambiental.

5.7 Número Kappa

A boa qualidade da celulose, associada a baixos custos de produção, está intimamente correlacionada com os bons resultados no processo de polpação, daí a necessidade de um bom conhecimento e um bom rendimento durante a etapa do cozimento. Para isto, o Kappa é uma variável de extrema importância para bons resultados operacionais. O número Kappa representa a branqueabilidade ou grau de deslignificação da polpa, através de um teste onde é medido o consumo de permanganato de potássio por um grama de celulose. O número Kappa é uma maneira tradicional de se verificar a qualidade da polpa obtida no final do processo de cozimento dos cavacos (KLOCK, 2000).

Segundo Gouvêa et al. (2009), quanto maior o Kappa, maior a quantidade de lignina residual na polpa e mais difícil será o seu branqueamento. O número Kappa da polpa indica também a polpabilidade da madeira, ou seja, facilidade de cozimento.

Alguns fatores como os elementos químicos da madeira, podem influenciar na polpação afetando o número Kappa. Bassa et al. (2007) observaram que o elevado teor de extrativos na madeira de *Pinus* exige maior teor de álcali ativo para atingir o Kappa desejado, pois esse consome álcali e impede que haja melhor deslignificação entre as fibras. Os autores também observaram que o elevado teor de lignina na madeira, quando comparado com o *Eucalyptus*, provocou maior consumo de energia química e térmica para a individualização das fibras, para um Kappa proposto.

As características físicas da madeira e seu preparo para o cozimento podem interferir na deslignificação. Queiroz et al. (2004) observaram menor número Kappa em madeiras de menor densidade. Robinson et al. (2002) identificaram a espessura do cavacos como um contribuinte para a variação do Kappa.

Vários são os fatores que impedem um bom cozimento e que refletem no número Kappa elevado para a produção de papel. Pesquisas têm sido realizadas para se estabelecer um grau ótimo de deslignificação (número Kappa), ponto em que o cozimento deve efetivamente ser encerrado, antes que outras formas de deslignificação ocorram. Muitos estudos chegaram à conclusão de que é sempre melhor encerrar o cozimento a um número Kappa mais alto, dentro das limitações operacionais do equipamento, e continuar a deslignificação com um estágio de oxigênio, por exemplo. Certamente a realização desse objetivo é sempre prejudicada por uma grande quantidade de rejeitos, gerados por operações com números Kappa muito altos na saída do digestor (COLEDETTE, 2014).

Foelkel (2009c) afirma que, quando a polpação Kraft da madeira de eucalipto resulta em Kappa abaixo de 20, a individualização final das fibras é obtida com ação mecânica muito leve, a própria remoção dos cavacos cozidos de dentro do digestor e seu bombeamento à média ou baixa consistência (peso seco de celulose por volume de suspensão) já é suficiente para essa separação. Entretanto, segundo o autor, não deve haver exageros, nem para mais nem para menor, número Kappa abaixo de 15, por exemplo, pode resultar em perdas sérias de rendimento da polpação.

5.8 Propriedades físico-mecânicas da celulose

As propriedades físico-mecânicas da celulose já há muito tem sido estudada, pois são essas que determinam a resistência do papel. A maneira de o papel resistir à ação de forças externas, da umidade e do calor, depende de sua composição fibrosa e de sua formação. A resistência do papel é muito importante nos casos onde o papel deve resistir a um esforço aplicado. Esta resistência, sendo um termo vago, precisa ser identificada quanto à sua natureza, como, por exemplo, resistência à tração, resistência ao rasgo resistência ao arrebentamento ou estouro (MELO, 2008).

Segundo Brasil et al. (1972), a espessura da parede das fibras desempenha fundamental importância na resistência à tração, ao arrebentamento e mesmo ao dobramento, em virtude principalmente das modificações ocorridas durante o processo de refino.

Na refinação das fibras, o tempo de duração é um fator de máxima importância, porque dele dependem as modificações ocorridas, tais como, corte de fibras, desfibrilação e hidratação (SILVA, 1969 apud BRASIL et al.,1972). Mantidas constantes as outras variáveis tais como pressão específica, concentração da massa e escolha das

máquinas refinadoras, as propriedades finais do papel serão função direta do tempo de refinação pelas alterações na parede celular e no comprimento das fibras (BRASIL et al., 1972).

De acordo com Melo (2008) os papéis devem resistir, pelo menos, aos diferentes tipos de força que encontram ao longo do processo de produção e utilização. Para a determinação da resistência à tração, submete-se um corpo de prova de largura e comprimento especificados a um esforço de tração uniformemente crescente até a sua ruptura.

A resistência ao arrebentamento é definida como a pressão necessária para produzir o um estouro ou arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular, onde polpas com menores teores de finos e maiores comprimentos de fibras, em geral, geram papéis com maior resistência ao estouro (NASCIMENTO et al., 2009).

O resultado dos testes de resistências físico-mecânicas é que determinam a finalidade pelo qual o papel será utilizado, onde as características da matéria prima podem afetar diretamente esses resultados. A dimensão e densidade das fibras, por exemplo, são características da madeira que podem afetar as resistências físico-mecânicas do papel. Mokfienski et al. (2008) observaram que a resistência mecânica, juntamente com a opacidade, constitui-se no principal atributo de qualidade de papéis de escrita e impressão, onde fibras de madeiras de densidade mais alta, que apresentam maior espessura de parede, são mais rígidas e são indicadas para a fabricação de papéis absorventes de alto volume específico, alta capacidade de retenção de água e maciez e de menor lisura. Enquanto madeiras de densidade mais baixa, apresentaram maiores diâmetros de fibra e de lume, menores teores de finos, menores espessuras de parede de fibra e menor valor de “coarseness”. Segundo os autores, fibras com menores espessuras de parede e maiores diâmetros de lume têm maior potencial de colapso, facilidade de refino, maior área de contato entre fibras na formação da folha de papel e, logo, maior resistência à tração.

O número Kappa, que é o grau de deslignificação da celulose, é também uma característica que pode influenciar nos resultados físicos-mecânicos do papel. Pedrazzi et al. (2010) observaram que as polpas de número Kappa 14 resultaram em maiores valores de tração que as polpas de Kappa 17, enquanto para o índice de rasgo, os valores mais elevados foram encontrados em Kappa 17.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Material

O material utilizado no presente estudo foi constituído por 10 árvores de *Cecropia palmata* (imbaúba) e 10 árvores clone de *Eucalyptus grandis*, que por sua excelente qualidade para a produção de celulose e papel, serve como referência para novas pesquisas. Os dois materiais foram submetidos ao mesmo procedimento experimental.

6.1.1. Identificação da *Cecropia palmata*

Por se tratar de uma árvore nativa da Amazônia, fez-se necessária a identificação da espécie, sendo esta pertencente ao gênero *Cecropia* sp. Para isso, foi realizada a coleta da parte vegetativa das árvores (folhas e parte apical). O material foi prensado no local de coleta, com todos os cuidados e técnicas recomendadas por Machado e Barbosa (2010), e encaminhado para o Herbário BOTU, localizado na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu. A espécie foi identificada como *Cecropia palmata* pelo pesquisador Dr. Sergio Romaniuc Neto do Instituto de Botânica de São Paulo - Herbário SP, juntamente com seu aluno de doutorado André Gaglioti, mestre em biodiversidade vegetal e meio ambiente, na área de concentração de plantas vasculares em análises ambientais. A Figura 1 mostra o material que encontra-se no acervo do Herbário BOTU, com número de registro 29901.

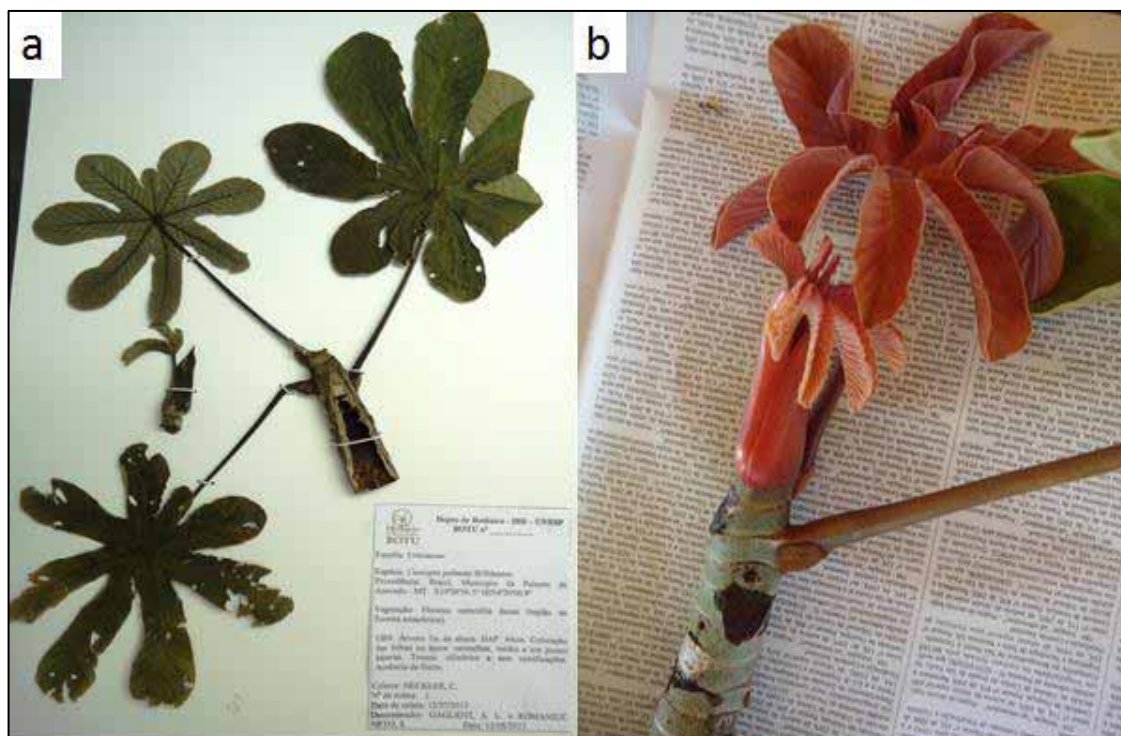


Figura 1. a) Material armazenado no acervo do Herbário BOTU, utilizado para identificação da espécie; b) parte apical da planta com folhas jovens de coloração avermelhada, característico da *C. palmata*.

Fonte: Arquivo pessoal

6.1.2. Caracterização da área de coleta do material

A área onde foram coletadas as imbaúbas constitui a uma floresta natural localizada em uma propriedade particular no município de Peixoto de Azevedo, extremo norte do estado do Mato Grosso. O município está localizado nas coordenadas 54°59'10"W e 10°13'36"S, a 300m de altitude e a 661 km de distância da Capital – Cuiabá. A propriedade onde foi realizada a coleta está nas coordenadas 54°19'15,89"W e 10°21'30,701"S. A Figura 2 apresenta a localização do município no estado do Mato Grosso e o croqui da área de estudo.

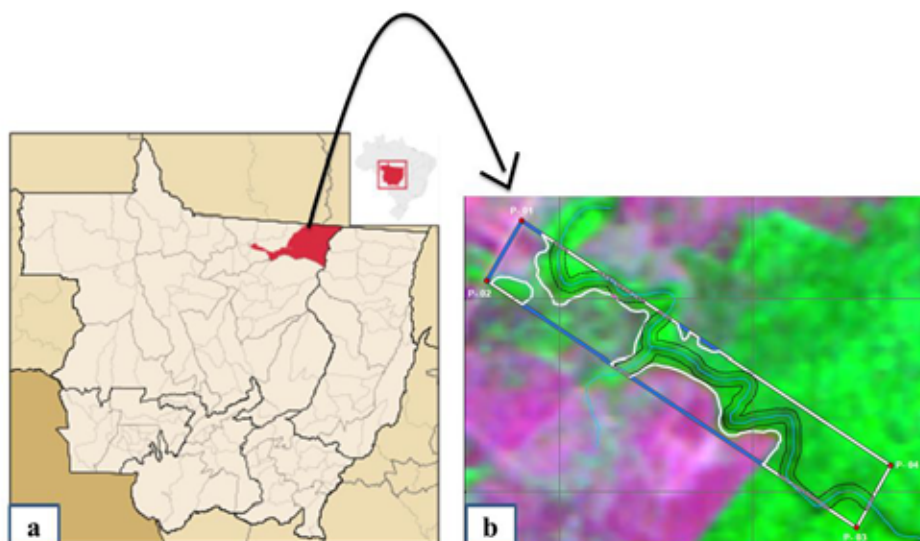


Figura 2. a) Mapa do estado do Mato Grosso com a localização do município Peixoto de Azevedo destacado em vermelho; b) Croqui da área de coleta do material localizado no município Peixoto de Azevedo.

A região apresenta clima equatorial quente e úmido, com precipitação média anual de 2.500mm, com intensidade máxima nos meses de janeiro, fevereiro e março. Temperatura média anual de 24°C, com maior máxima de 40°C, e menor mínima 4°C (FERREIRA, 1997).

As árvores de *Eucalyptus grandis* foram disponibilizadas pela empresa Lwarcel Celulose e Papel, sendo retiradas na Fazenda Nova América.

6.2. Métodos

6.2.1. Amostragem das árvores

As árvores de *Cecropia palmata* foram retiradas de forma aleatória, num raio de 400 m², a idade das árvores foi estimada entre 5 e 6 anos. As árvores de *Eucalyptus grandis* foram amostradas de um plantio homogêneo com espaçamento 3x2m e idade 6 anos.

De cada árvore abatida das diferentes espécies foram medidas as alturas total, comercial e DAP com casca, para posteriores análises dendrométricas. Foram retirados discos de aproximadamente 3 cm de espessura na base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, como na Figura 3, considerando diâmetro mínimo de 8 cm com casca.

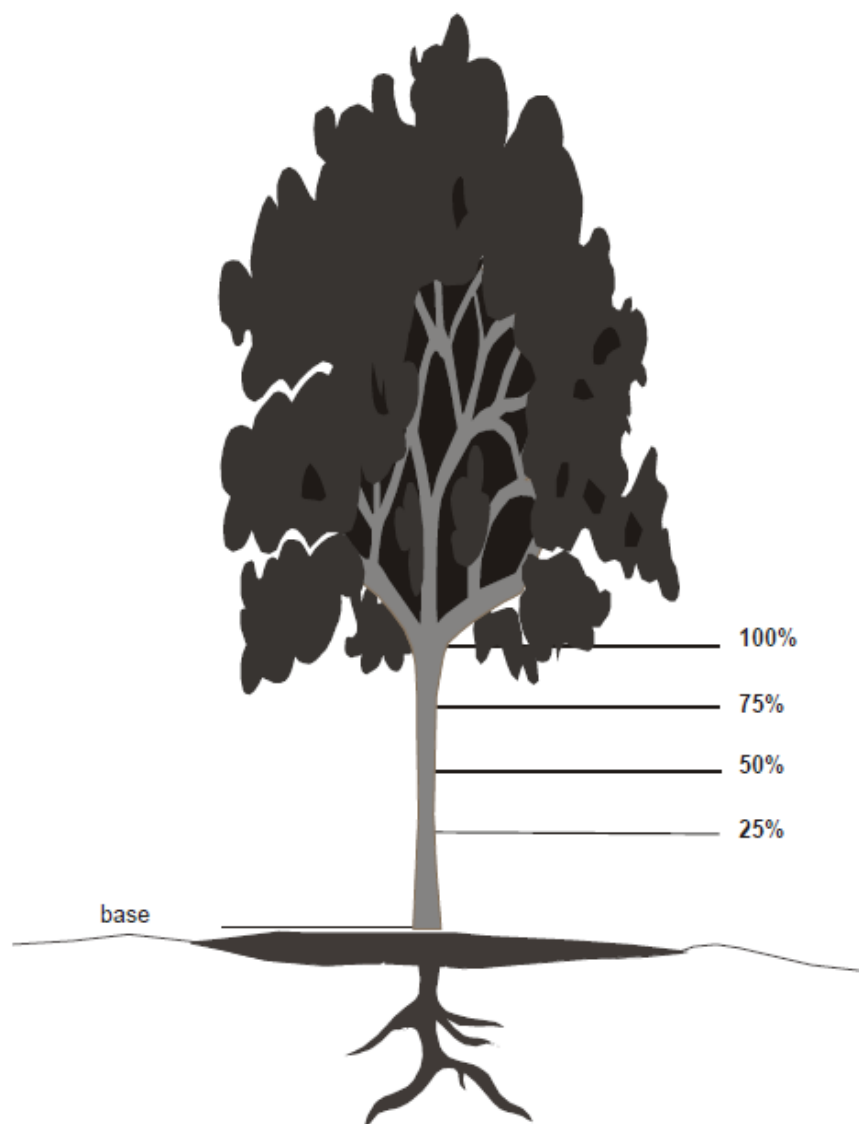


Figura 3. Posição de coletas nos discos das árvores.

Fonte: ROCHA (2004)

Nos discos coletados foram efetuadas as medições dos diâmetros com casca e sem casca. Posteriormente, os discos foram cortados em quatro cunhas com ângulo de 90°. A primeira cunha foi utilizada para a determinação da densidade básica; a segunda cunha foi utilizada para a avaliação da composição química da madeira; a terceira cunha para deslignificação Kraft e a quarta cunha reservada, como ilustrado na Figura 4. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas e Papel e Celulose, localizados na Faculdade de Ciências Agronômicas / Unesp – Botucatu.

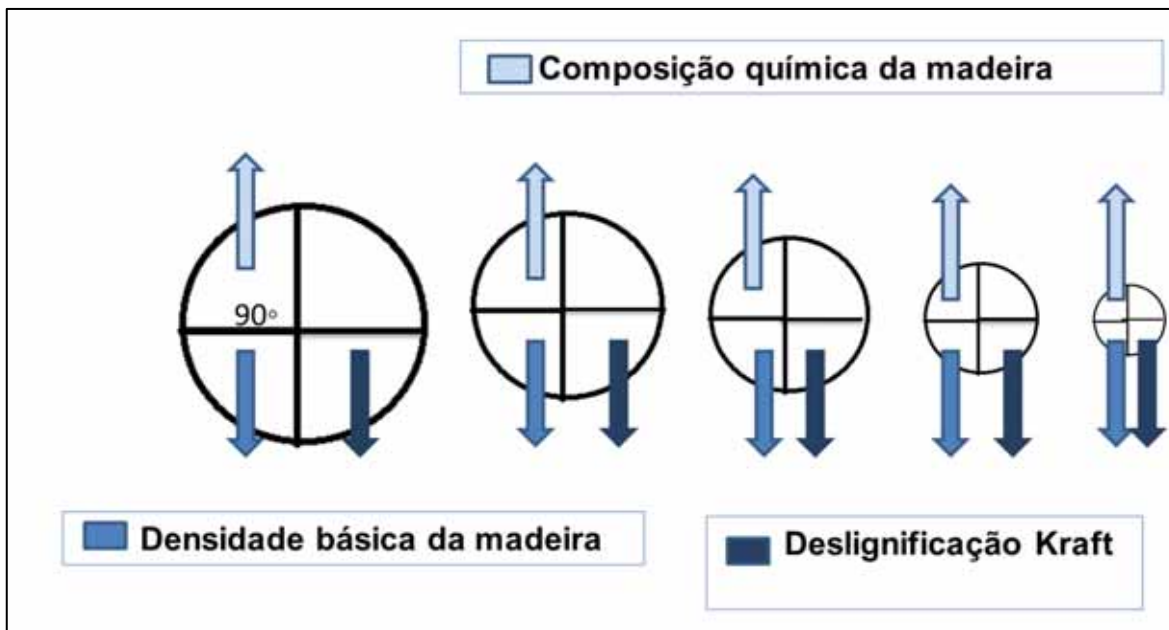


Figura 4. Discos das árvores cortadas em ângulo de 90° com as respectivas utilizações de cada cunha.

6.2.2. Determinação dos parâmetros dendrométricos das árvores

Para determinação dos parâmetros dendrométricos das árvores, nos discos coletados foram efetuadas medições de seus respectivos diâmetros com e sem casca. O volume comercial de cada árvore, com e sem casca, foi determinado através da Equação 1:

$$V_c = \frac{\pi}{8} L \left[D_B^2 + D_{100}^2 + 2(D_{25}^2 + \dots + D_{75}^2) \right] \quad (1)$$

Onde:

V_c = volume comercial da árvore, m^3

L = comprimento de cada seguimento da árvore, m

D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore, m

A massa comercial da árvore foi determinada pela multiplicação do volume sem casca da madeira pela sua densidade básica, como segue a Equação 2:

$$M_a = d_a \times V_c \quad (2)$$

Onde:

Ma = massa comercial da árvore, kg

da = densidade básica média da árvore, kg/m³

Vc = volume comercial da árvore, m³

A percentagem de casca em volume foi determinada pela relação entre a diferença dos volumes da árvore com casca e o volume sem casca, representada pela Equação 3:

$$\%Cv = \left(\frac{V_{c/c} - V_{s/c}}{V_{c/c}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

% Cv= percentagem de casca em volume, %

Vc/c= volume da árvore com casca, m³

Vs/c = volume da árvore sem casca, m³

A percentagem de casca em massa foi determinada seguindo a Equação 4:

$$\%Cm = Mc / (Mc + Ma) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

%Cm= percentagem de casca em massa, %

Mc= massa da casca, kg

Ma= massa da árvore, kg

6.2.3. Densidade básica da madeira

A determinação da densidade básica da madeira foi efetuada por meio do método da balança hidrostática, seguindo o prescrito na Norma ABTCP M14/70. A densidade básica média de cada árvore foi determinada por meio da densidade básica de cada cunha e respectivo diâmetro sem casca, conforme a Equação 5:

$$d_a = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{25}^2)(d_B + d_{25}) + \dots + (D_{75}^2 + D_{100}^2)(d_{75} + d_{100})}{D_B^2 + D_{100}^2 + 2(D_{25}^2 + \dots + D_{75}^2)} \quad (5)$$

Onde:

d_a = densidade básica média da árvore, g/cm^3

D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore, cm

d = densidade básica das cunhas a diferentes alturas da árvore, g/cm^3

A densidade básica de cada cunha foi determinada conforme a Equação 6:

$$db = \frac{PS}{PU - PI} \quad (6)$$

Onde:

db = densidade básica da cunha de madeira, g/cm^3

PS = peso seco da cunha de madeira, g

PU = peso úmido da cunha de madeira, g

PI = peso imerso da cunha de madeira, g

A Figura 5 mostra a determinação da densidade básica das cunhas através do método de balança hidrostática.

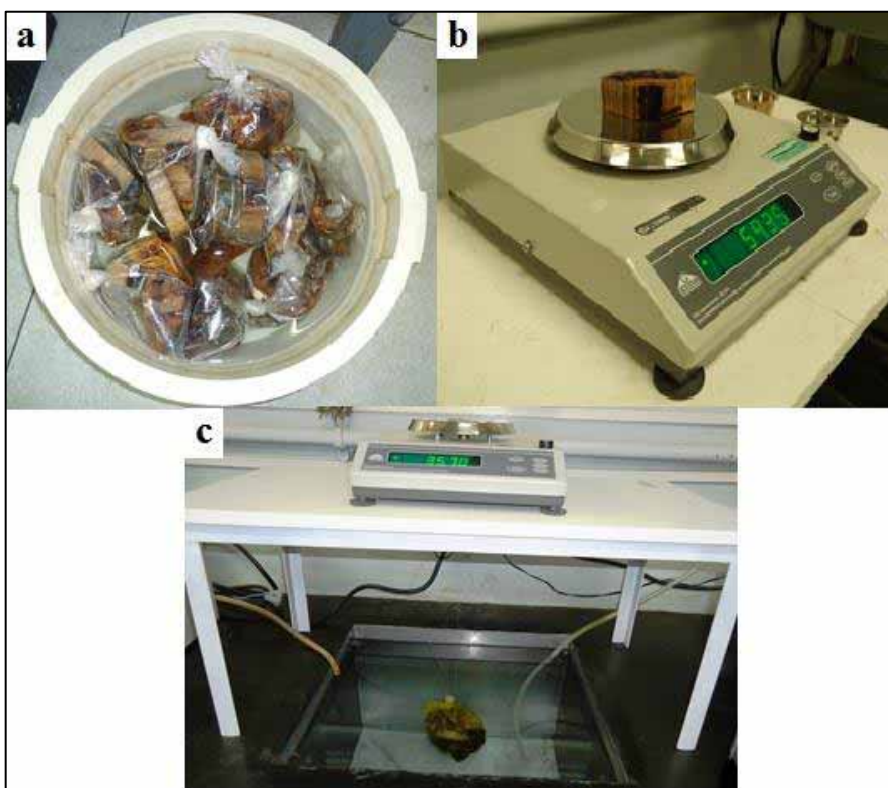


Figura 5. Determinação da densidade básica através do método de balança hidrostática; a) cunha de madeira de molho em água para atingir o ponto de saturação; b) peso ao ar das cunhas; c) peso imerso das cunhas.

6.2.4. Composição química da madeira

A amostra composta de madeira foi obtida por meio do agrupamento de palitos obtidos manualmente de cunhas retiradas dos discos amostrados nas diferentes alturas das árvores. Estes palitos foram reduzidos à serragem em macro-moinho Wiley. Posteriormente, a serragem obtida foi classificada para obtenção da fração 40/60 Mesh (Figura 6).



Figura 6. Preparo de amostras para análise da composição química da madeira; a) macro-moinho Wiley para transformar palitos de madeira em serragem; b) peneiras classificatórias de serragem para obtenção da fração 40/60 Mesh; c) palitos de madeira a serem reduzidos a serragem; d) serragem classificada.

Fonte: Arquivo pessoal

Com a serragem obtida em fração de 40/60 Mesh, foram efetuadas as seguintes análises para cada árvore:

Lignina Klason – TAPPI T 13 wd-74

Holocelulose – deslignificação com clorito de sódio

Extrativos totais - TAPPI T 12 wd-82

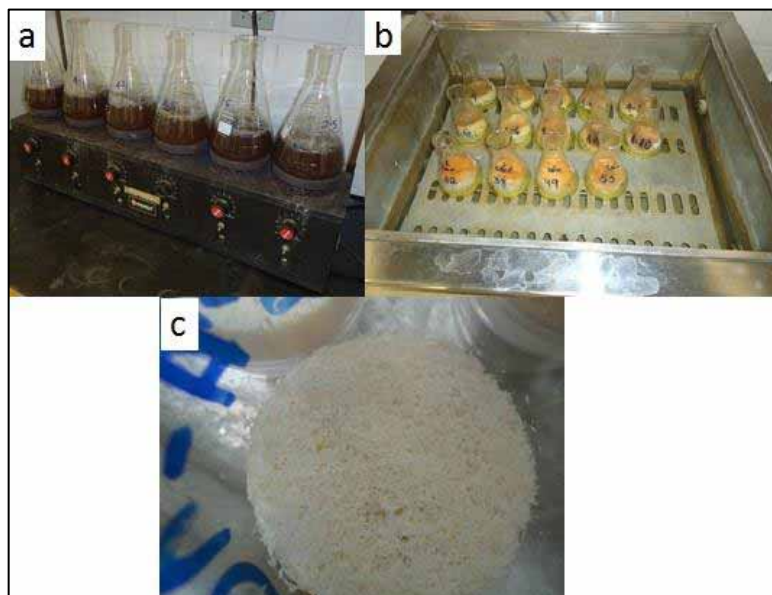


Figura 7. Análise química da madeira; a) aparelho sebilin com seis placas aquecedoras para determinação da lignina; b) aparelho termostático de banho-maria para determinação da holocelulose; c) holocelulose da *Cecropia palmata*.

6.2.5. Deslignificação Kraft da madeira

A deslignificação Kraft da madeira foi realizada em digestor rotativo, com 20 litros de capacidade. Os cavacos foram colocados em cápsulas com capacidade para aproximadamente 50 g de cavacos secos. Posteriormente as cápsulas foram amarradas com arame, para que não houvesse misturas de amostras. A deslignificação de cada árvore foi efetuada com duas repetições. As condições de deslignificação Kraft foram as apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Condições do cozimento Kraft.

Álcali ativo base madeira seca como Na ₂ O	14 e 16%
Sulfidez do licor, %	25
Antraquinona base madeira seca, %	0,05
Temperatura máxima, °C	170
Tempo até temperatura máxima, min	90
Tempo na temperatura máxima, min	30

Após o cozimento sob as condições da Tabela 3, foi realizada a lavagem dos cavacos para retirada do licor negro (Figura 8).

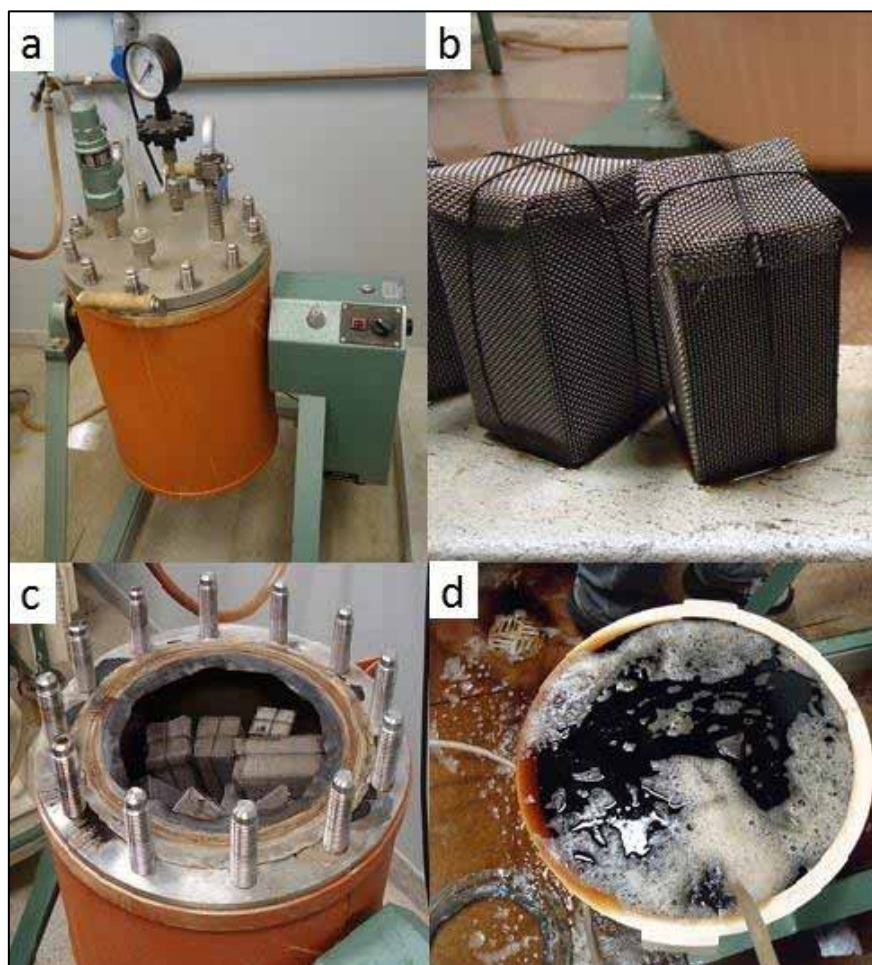


Figura 8. Cozimento Kraft; a) digestor rotativo; b) cápsulas armazenadoras dos cavacos; c) preparação dos cavacos no digestor para a deslignificação Kraft; d) lavagem dos cavacos após o cozimento para retirada do licor negro.

Fonte: Arquivo pessoal

Após a deslignificação Kraft, os cavacos foram desintegrados em equipamento desintegrador Regmed D-3000 com 2.000 revoluções, para individualizar as fibras da celulose cozida e determinado o rendimento bruto (Equação 7), o teor de rejeitos base madeira (Equação 8), o teor de rejeitos base celulose (Equação 9), o rendimento depurado (Equação 10), o número Kappa e o consumo específico de madeira (Equação 11).

$$R_b = (m_{sc} / m_{sm}) \times 100 \quad (7)$$

Onde:

Rb = rendimento bruto, %

m.s.c. = massa seca de celulose, g

m.s.m. = massa seca de madeira, g

$$\%Re j_{bm} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \times Rb \quad (8)$$

Onde:

%Rej_{bm} = percentagem de rejeitos base madeira

m.s.r. = massa seca de rejeitos, g

m.s.c. = massa seca de celulose, g

Rb = rendimento bruto, %

$$\%Rej_{bc} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

%Rej_{bc} = percentagem de rejeitos base celulose

m.s.r. = massa seca de rejeitos, g

m.s.c. = massa seca de celulose, g

$$Rd = Rb - \%Re j_{bm} \quad (10)$$

Onde:

Rd = rendimento depurado, %

Rb = rendimento bruto, %

%Rej_{bm} = percentagem de rejeitos base madeira

$$CEM = \frac{1}{Rb \times db} \quad (11)$$

Onde:

CEM = consumo específico, m³ de madeira/t de celulose seca

Rb = rendimento bruto, %

db = densidade básica, t/m³

Por fim, o número Kappa foi determinada através da norma TAPPI T 236 om-85. De acordo com a norma, o número Kappa é o volume (em mililitros) de solução de permanganato de potássio consumido por um grama de celulose seca, em outras palavras, o número Kappa é o que determina o grau de deslignificação do processo Kraft. Esta foi efetuada em amostras de polpas depuradas de cada amostra composta (Figura 9).



Figura 9. Determinação do número Kappa.

Fonte: Arquivo pessoal

6.2.6. Classificação e morfologia das fibras

6.2.6.1. Classificação das fibras em Bauer McNett

A classificação das fibras de polpa depurada foi realizada em classificador de fibras Bauer McNett (Figura 10), marca TMI, equipado com as peneiras padrão US 16 - 30 - 50 - 100 e 200 mesh, correspondente as seguintes aberturas em mm: 1,190 - 0,595 - 0,297 - 0,149 - 0,074 mm (norma TAPPI T 233 cm-95). Em cada determinação foi utilizado o equivalente a 10 g s.e. de polpa durante 10 minutos. Foram efetuadas determinações em duplicata para quantificar as retenções da polpa nas cinco peneiras. Ao final, as fibras da polpa são classificadas por comprimento nessas cinco frações. As análises foram realizadas no laboratório de Celulose e Papel do departamento de Ciência Florestal na Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP Botucatu.



Figura 10. Classificador de fibras em Bauer McNett, constituída por cinco tanques em cascatas, equipado com peneiras em cada um dos compartimentos e água corrente para a passagem das fibras.

Fonte: Arquivo pessoal

6.2.6.2 Análise morfológica das fibras em FQA (Fiber Quality Analyzer)

A análise morfológica das fibras foi realizada com o equipamento FQA (Fiber Quality Analyzer), no Laboratório de Celulose e Papel da Unesp/Campus Experimental de Itapeva.

A largura das fibras, teor de finos, população fibrosa e índice de torção foram obtidos por meio do equipamento FQA (Fiber Quality Analyzer) de forma rápida e precisa. O comprimento médio das fibras foi expresso por meio das Equações 12, 13 e 14:

Média aritmética, L_n :

$$L_n = \frac{\sum_{i=1}^n ni.Li}{\sum_{i=1}^n ni} \quad (12)$$

Média ponderada por comprimento, Llw :

$$Llw = \frac{\sum_{i=1}^n ni.Li^2}{\sum_{i=1}^n ni.Li} \quad (13)$$

Média ponderada por peso, Lww :

$$Lww = \frac{\sum_{i=1}^n wi.Li}{\sum_{i=1}^n wi} \quad (14)$$

Sendo:

ni = número de fibras na classe i ;

Li = comprimento médio na classe i ;

wi = peso de fibras na classe i .

O índice de curvatura das fibras foi determinado conforme a Equação 15:

$$IC = \left(\frac{L}{l} \right) - 1 \quad (15)$$

Onde:

IC = índice de curvatura

L = comprimento projetado (< comprimento)

l = comprimento de contorno da fibra (> comprimento)

O “coarseness” é definido como peso por unidade de comprimento da fibra, expresso como miligramas por 100 m de fibra (ou decigramas por 10 km). É uma propriedade importante das fibras para fazer papel. O “coarseness” afeta as respostas das fibras na fabricação do papel e altera várias propriedades de estrutura, resistência e óptica do produto (MENEGAZZO, 2012). Este foi determinado pela Equação 16:

$$C = \frac{m}{n.L} \quad (16)$$

Sendo:

C = “coarseness”

m = massa pequena de fibras s.e. introduzida no analisador

L = comprimento médio aritmético das fibras

n = número total de fibras na massa m.

6.2.7. Refino e propriedades físico-mecânicas da celulose

As celuloses provenientes da deslignificação Kraft das madeiras foram refinadas em moinho centrífugo Jokro Mühle, 150rpm, utilizando 16g s.e. por panela, a uma consistência de 6%, nos níveis 4500, 6750, 9000, 11250 e 13500 revoluções (Figura 11).



Figura 11. Refino da celulose; a) moinho centrífugo Jokro Mühle - REGEMED-MJ/K6; b) celulose sendo preparada na panela de refino; c) panelas sendo anexadas no moinho.

O grau de refino foi avaliado através da determinação do grau Schopper-Riegler (SCAN-M3:65), como mostra a Figura 12.



Figura 12. Equipamento para determinação do grau Schopper-Riegler- REGMED-SR-A.

As folhas para os ensaios físico-mecânicos, com gramatura aproximada de 60g/m^2 , foram formadas em aparelho formador tipo Köthen rapid (Figura 13) e acondicionadas em ambiente climatizado, nas condições de $50 \pm 2\%$ de umidade relativa e temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, de acordo com as normas da TAPPI T 402 om-93.



Figura 13. Formação do papel; a) máquina formadora de papel tipo Köthen rapid - REGMED-F/SS-2; b) papel de celulose marrom de *Cecropia palmata* sendo formada.

A Tabela 4 apresenta as análises que foram realizadas das propriedades físico-mecânicas em graus de refino e as normas aplicadas a cada uma.

Tabela 4. Normas utilizadas nas propriedades físico-mecânicas da celulose.

Propriedades	Normas
Peso Específico Aparente	TAPPI T 220 sp-96
Volume Específico Aparente	TAPPI T 220 sp-96
Índice de rasgo	TAPPI T 414 om-98
Índice de arrebentamento	TAPPI T 403 om-97
Alongamento	TAPPI T 494 om-96
Resistência ao ar	TAPPI T 406 om-96
Propriedades da tração	TAPPI T 494 om 96

As fórmulas utilizadas para os cálculos das propriedades de resistência físico-mecânicas da celulose foram:

peso específico aparente (Equação 17):

$$PEA = \frac{G}{E} \quad (17)$$

Onde:

PEA = Peso Específico Aparente, g/cm³

G = Gramatura, g/m²

E = Espessura, mm

Volume Específico Aparente (Equação 18):

$$VEA = \frac{E}{G} = \frac{1}{PEA} \quad (18)$$

Onde:

VEA = Volume Específico Aparente, cm³/g

E = Espessura, mm

G = Gramatura, g/m²

PEA = Peso Específico Aparente, g/cm³

Índice de rasgo (Equação 19):

$$IR = \frac{RR}{G} \quad (19)$$

Onde:

IR = Índice de rasgo, mN.m²/g

RR = Resistência ao rasgo, mN

G = Gramatura, g/m²

Índice de arrebentamento (Equação 20):

$$IA = \frac{P}{G} \quad (20)$$

Onde:

IA = Índice de arrebentamento, kPa.m²/g

P = Pressão média, kPa

G = Gramatura, g/m²

Alongamento (Equação 21):

$$A = \frac{D}{C} \cdot 100 \quad (21)$$

Onde:

A = Alongamento, %

D = Deformação, mm

C = Comprimento inicial, mm

Índice de tração (Equação 22):

$$IT = \frac{RT \cdot 1000}{G} \quad (22)$$

Onde:

IT = Índice de tração, N.m/g

RT = Resistência à tração, kN/m

G = Gramatura, g/m²

A Figura 14 ilustra as amostras (Fig. 14-a) e os equipamentos utilizados nas análises físico-mecânicas realizadas na celulose de *C. palmata* e *E. grandis*.

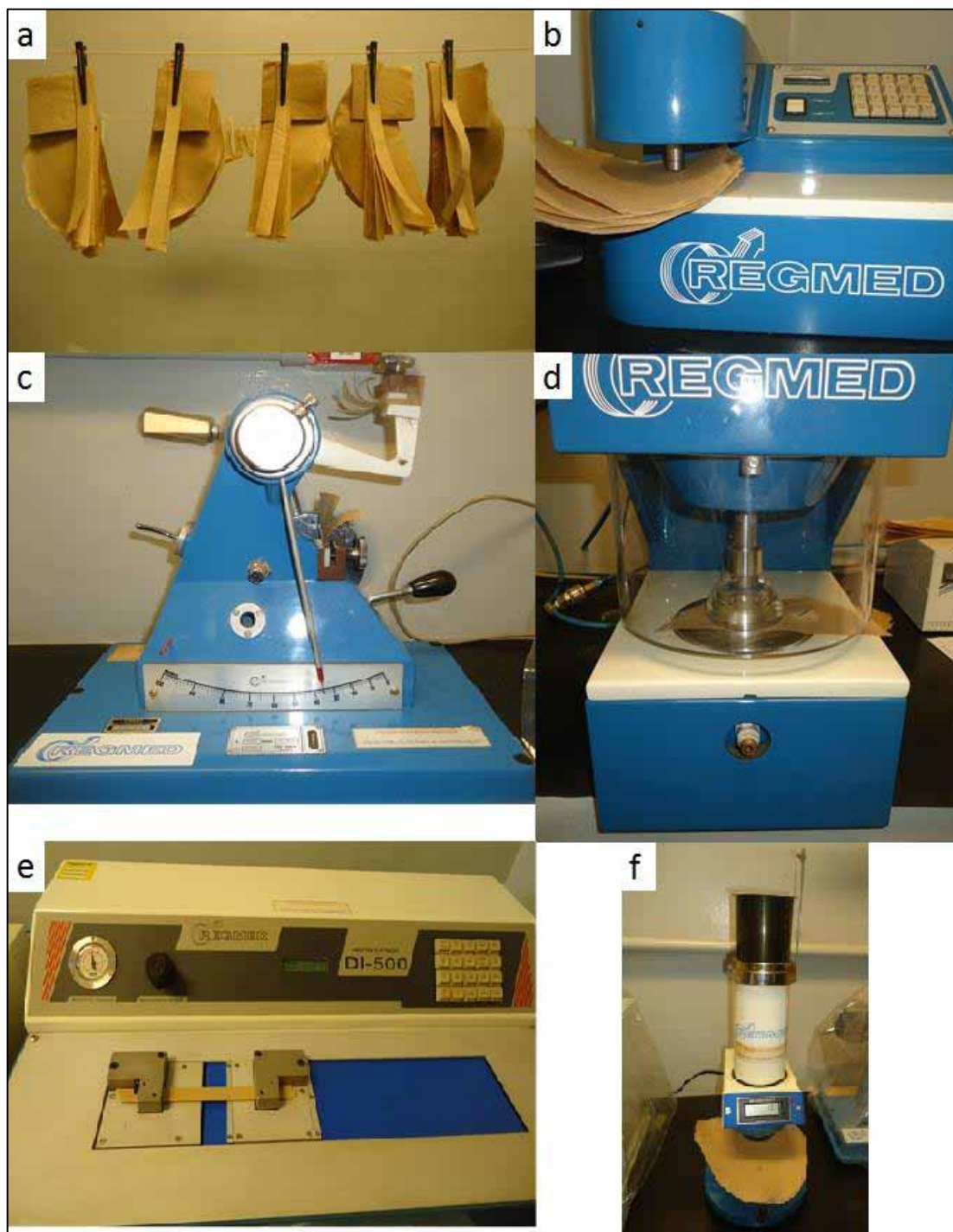


Figura 14. Análises físico-mecânicas do papel; a) corpos de prova; b) determinação da espessura das folhas; c) índice de rasgo; d) índice de arrebatamento/estouro; e) propriedades de tração; f) índice de resistência ao ar.

6.2.8. Análise estatística

A análise estatística do presente estudo pode ser resumida e observada no fluxograma da Figura 15.

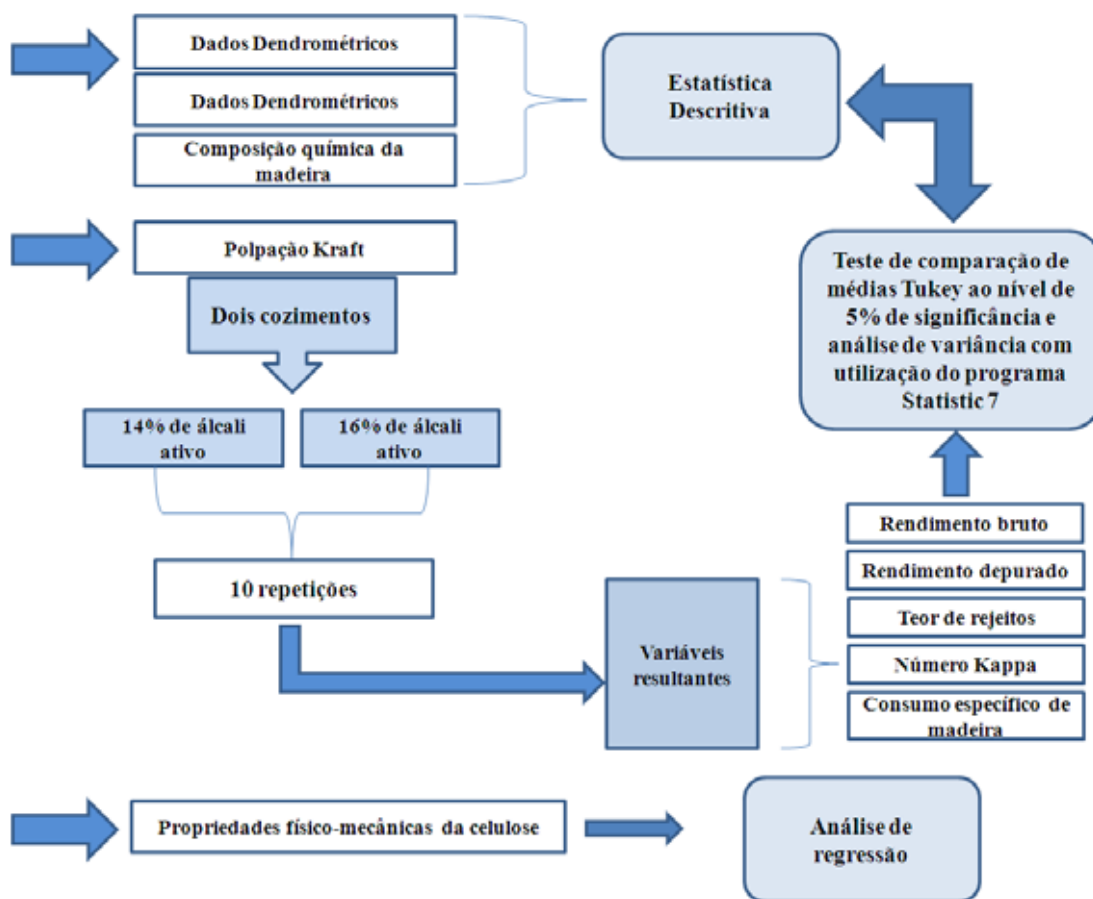


Figura 15. Fluxograma da análise estatística.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Parâmetros dendrométricos

A Tabela 5 apresenta a média dos parâmetros dendrométricos das árvores de *Cecropia palmata* e *Eucalyptus grandis*. Como pode ser observado, houve diferença significativa pelo teste de Tukey em todos os parâmetros entre as espécies.

Tabela 5. Média dos parâmetros dendrométricos das espécies.

Espécies	<i>Cecropia palmata</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
DAP, cm	17,8 b	29,5 a
Altura total,m	14,33 b	34,77 a
Altura comercial, m	11,29 b	32,11 a
Volume com casca, m ³	0,207 b	1,05 a
Volume sem casca, m ³	0,174 b	0,954 a
% de casca em volume	16,1 a	9,3 b
% de casca em massa	14,2 a	6,7 b
Massa seca da árvore sem casca, kg	66 b	437 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%

Os dados relativos ao crescimento das árvores de *Cecropia palmata* mostraram-se inferiores ao de *E. grandis*; observa-se que houve diferenças significativas na altura total, comercial e DAP. Sposito (1999) estudando o tamanho, forma, alometria e crescimento de algumas espécies de *Cecropia* do Brasil, encontrou para a *Cecropia palmata* altura entre 14-16m e diâmetro de 17-22 cm, semelhante ao desse estudo.

A altura e o diâmetro resultam em volume das árvores, o que explica o volume com e sem casca terem se mostrado inferiores para a imbaúba. Para a

produção de papel e celulose essa diferença é bastante significativa. Árvores menos produtivas em volume e massa exigem maior área de floresta plantada para cada tonelada de polpa produzida, conseqüentemente provocam maiores custos no plantio e no transporte e exigem mais espaço na fábrica para o armazenamento ou empilhamento das toras.

O percentual de casca em volume e em massa também se mostrou elevada e diferente estatisticamente do *E. grandis*. Alguns estudos mostram que o percentual de casca em volume é variável de acordo com cada espécie. Freddo et al. (1999) encontraram percentagem de casca em madeiras de Eucaliptos e Acácia que variaram de 8,2 a 19,1%, Vital et al. (1989) observaram para *E. grandis* média de 9,69% em cinco classes de diâmetros, Costa e Rezende (2008) em clones e híbridos de *Eucalyptus* encontraram variação de 6,3 a 10,1%, e Oliveira et al. (1999) 10,82 a 21,54% para espécies de *Eucalyptus*.

De acordo com Alzate (2004), o teor de casca constitui em aproximadamente 10 a 20% do volume total do tronco da árvore. A casca é um constituinte da madeira ruim na produção de celulose e papel. Quanto maior a quantia gerada no descascamento das toras, maiores serão os resíduos sólidos produzidos e maior espaço será exigido no pátio, além de contaminar os cavacos levando sujeira para o digestor, afetando assim, a qualidade da polpa.

As indústrias de papel geram milhares de toneladas de casca anualmente, gerando problemas de descarte, alto risco de incêndio e problemas econômicos (CARNEIRO et al., 2009). Além desses problemas, a casca é indesejável no processo de cozimento. A composição química da matéria-prima é um fator importantíssimo que influencia diretamente no processo. Por isso, a casca é evitada pelas indústrias, pois apresenta teores de extrativo e lignina superiores a madeira e menor percentual de holocelulose, como encontrado por Vital et al. (1989). Sendo assim, a casca consome boa parte do licor de cozimento, diminui o rendimento e resulta em elevados teores de rejeitos.

Em relação a massa comercial seca da árvore, houve grande e significativa diferença estatística em relação ao *E. grandis*. O volume e a densidade básica explicam esse resultado mínimo em massa da árvore. Massa e volume são parâmetros dendrométricos importantíssimos, tendo efeito direto nos custos de produção.

A Figura 16 mostra os resultados individuais das árvores. Observa-se individualmente quão grande é a diferença dos resultados dendrométricos entre as

espécies. As duas apresentaram menor dispersão entre médias na altura total das árvores (CV= 6,37% para *C. palmata* e 6,91% para *E. grandis*) e maior variação no volume com e sem casca, sendo CV= 38,15 e 38,17% para a *C. palmata* 17,33 e 18,07% para *E. grandis*. A *Cecropia palmata* apresentou maior %CV em todos os parâmetros dendrométricos, com exceção á altura total.

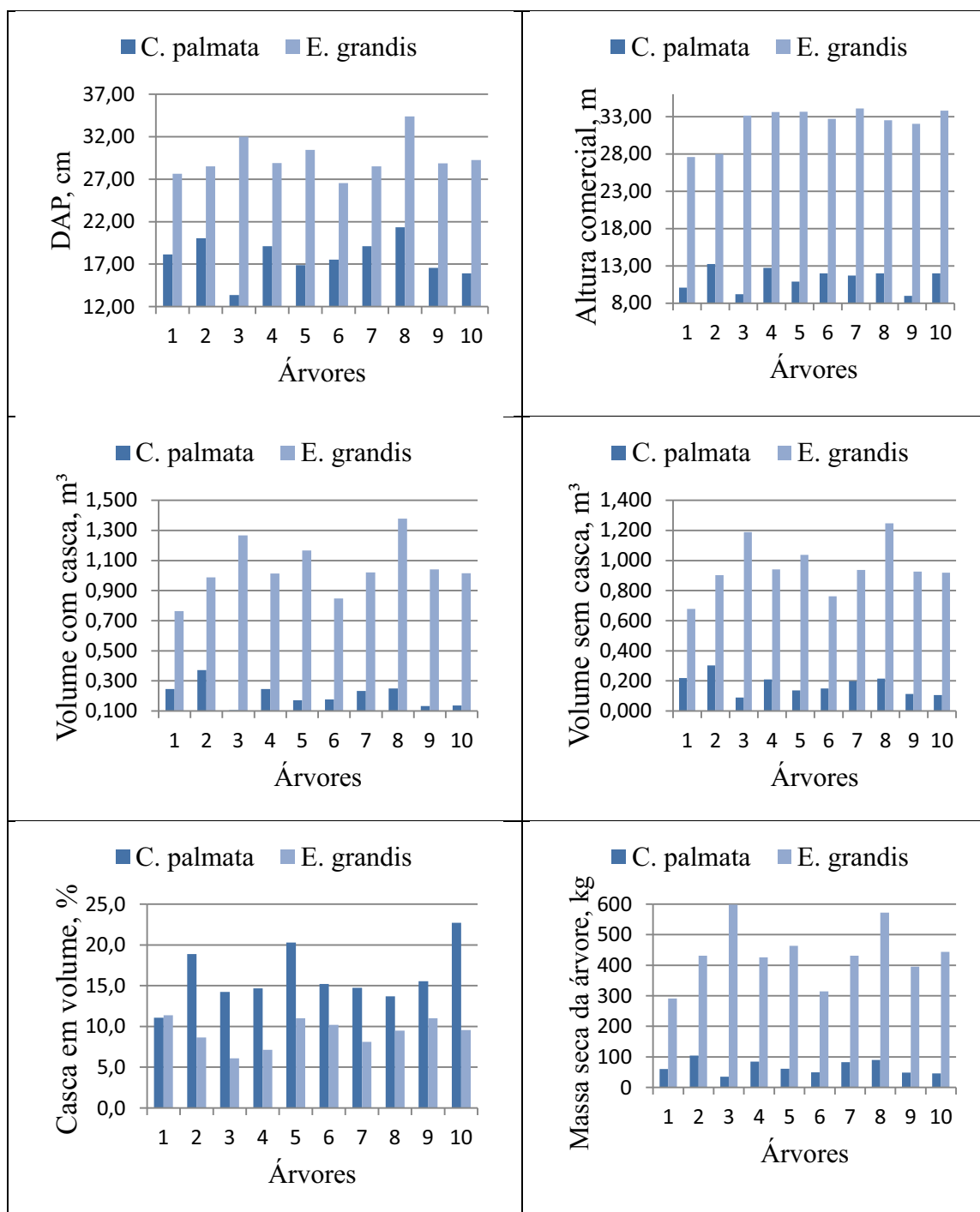


Figura 16. Resultados individuais das árvores com os parâmetros dendrométricos.

É importante lembrar que o *Eucalyptus* nem sempre apresentou alta produtividade. A espécie por meio de melhoramento genético e estudo de diferentes técnicas de plantios apresentou grande melhora em termos de produtividade ao longo dos últimos 40 anos. Isso é facilmente observado através da Tabela 6 mencionada por Foelkel (2009a), onde se observa o grande aumento na produtividade em metros cúbicos de madeira por hectare, queda no número de árvores plantadas para cada tonelada de celulose produzida e conseqüentemente menor área de floresta plantada. O autor afirma que as propriedades tecnológicas das árvores, madeiras, celulose e papéis são excepcionais e passíveis de melhorias ainda adicionais.

Tabela 6. Produtividade do *Eucalyptus* com diferença cronológica de 40 anos, por Foelkel (2009a).

Povoamentos comerciais/florestas plantadas de <i>Eucalyptus</i>	1970 - 1980	2000 - 2010
Produtividade (m ³ madeira/ha.ano)	20 - 30	40 - 55
Produtividade (t madeira seca/ha.ano)	10 - 18	20 - 30
Produtividade (adt polpa/ha.ano)	5 - 7	10 - 16
Número de árvores/m ³ madeira	6 - 12	2,5 - 4
Número de árvores/adt polpa	30 - 40	10 - 18
Hectares totais de efetivo plantio para abastecer uma fábrica d 1 milhão de toneladas de polpa ao ano (em 1.000 ha)	145 - 200	75 - 100

Não foram encontrados para a *C. palmata* estudos que mostre sua produtividade em volume (m³/ha/ano), para que esta fosse comparada com o *E. grandis*. Parolin (2002) observou na espécie de *Cecropia latibola*, que esta cresce 1 m em 7 meses. Meyer e Malet (1997) observaram para a *Cecropia insignis* taxa máxima de crescimento de 5m/ano, e Csurhes (2008) para *Cecropia* sp. incremento em diâmetro de 20 cm em 4 anos.

7.2. Análise física da Madeira

A Tabela 7 apresenta os resultados da densidade básica das duas espécies.

Tabela 7. Densidade básica média das árvores.

Espécies	<i>Cecropia palmata</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Densidade básica, g/cm ³	0,389 b	0,455 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%

Houve diferenças significativas no parâmetro de densidade básica entre as duas espécies. De acordo com a classificação adotada pelo Forest Products Laboratory (1973), a densidade da *Cecropia palmata* é considerada moderadamente leve, enquanto a do *Eucalyptus grandis* é moderadamente pesada.

Outros estudos mostram que o *E. grandis* tem a densidade básica realmente mais elevada. Foelkel et al. (1971) encontraram densidade básica média muito semelhante ao deste estudo, sendo de 0,459 g/cm³. A mesma semelhança foi encontrada para a imbaúba, Paula (2003) colheu amostras de *Cecropia palmata* em forma de cunhas, de áreas disjuntivas, orientadas radialmente do centro em direção ao alburno, denominadas área 1 (centro, incluindo o lenho juvenil), área 2 (terço médio) e área 3 (alburno), obtendo densidade básica média de 0,324 g/cm³.

Queiroz et al. (2004) ao estudarem a influencia da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft, observaram que a densidade básica mais alta proporcionou maior resistência ao corte e resultou em cavacos 13% mais espessos que a madeira de baixa densidade. Segundo os autores, a maior espessura dos cavacos certamente dificulta a impregnação pelo licor de cozimento, sendo necessário utilizar concentração de álcali mais elevada para conseguir a mesma deslignificação, no mesmo tempo e temperatura, que a alcançada nos cavacos de menor densidade e menor espessura.

A densidade moderadamente leve da *Cecropia palmata*, tem sua vantagem por fornecer maior facilidade de deslignificação, menor custo na picagem dos toretes, maior peso específico aparente da folha de celulose e maiores resistências que dependem da ligação entre fibras (tração e estouro da celulose). Porém, traz também desvantagens no processo de produção, pois madeiras de baixa densidade proporcionam menores rendimentos volumétricos do digestor devido à menor densidade aparente dos cavacos e maior consumo específico de madeira (m³ de madeira/tonelada de celulose).

Mokfienski et al. (2008) sugerem que as madeiras menos densas de eucalipto sejam as mais adequadas para a produção de papéis de impressão e de escrita, enquanto que as madeiras mais densas sejam mais adequadas para o segmento de papéis sanitários.

A Figura 17 vem mostrando o resultado individual das árvores, onde a *C. palmata* apresentou maior variação entre médias (CV=14,31%) que o *E. grandis* (CV= 6,09%).

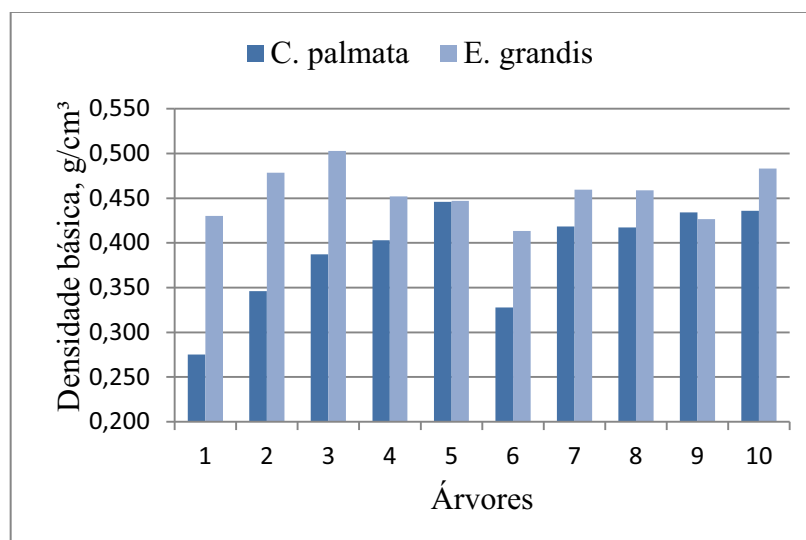


Figura 17. Densidade básica individual das árvores.

7.3. Análise química da madeira

A Tabela 8 apresenta os resultados médios da composição química das árvores.

Tabela 8. Resultado médio da composição química das árvores.

Espécies	<i>Cecropia palmata</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Extrativos Totais, %	4,05 a	2,68 b
Lignina insolúvel, %	20,81 b	24,03 a
Holocelulose, %	76,51 a	73,29 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%

A constituição química da madeira nativa mostrou-se diferente da espécie exótica. Havendo diferença estatística em todas as composições químicas entre as duas espécies. A *Cecropia palmata* apresentou teor de extrativos moderadamente elevado (4,05%), com 2,63% a mais, quando comparado com o *Eucalyptus grandis*. Porém, não muito fora do encontrado em outras espécies de eucalipto usadas pelas indústrias para fabricação de papel. Segundo Foelkel (2009a) os valores mais comuns de extrativos em espécies de eucalipto estão entre 1,5 a 6%, com uma enorme faixa de flutuação.

Gomide et al. (2005) ao estudarem clones de *Eucalyptus* no Brasil, analisaram que os extrativos solúveis em álcool/tolueno nas madeiras variaram desde 1,76 até 4,13%, onde o *E. grandis* de três procedências diferentes apresentaram 1,76, 3,37 e 3,30 %.

Muitos estudiosos ressaltam os problemas que os extrativos trazem no processo de fabricação da polpa, como o alto consumo de álcali e redução do rendimento, e os prejuízos que causam nas fábricas, por contaminar os equipamentos. No entanto, Foelkel (2009a) afirma que as mudanças tecnológicas e a modernização eliminaram esse grande gargalo que limitava o uso de algumas matérias-primas. De acordo com o autor, as etapas de deslignificação com oxigênio em dois reatores, as mais eficientes lavagens das polpas, o uso de surfactantes e outros, minimizaram esse problema, sendo desnecessário limitar algumas madeiras ao processo.

Quanto à lignina, a *Cecropia palmata* obteve bom resultado, apresentando teor bem abaixo do *Eucalyptus grandis*. A lignina é uma molécula difícil de ser removida, ela funciona como um “cimento” que une as células umas nas outras. Por isso no processo de deslignificação, quanto menor o teor de lignina, melhores serão os resultados no processo, isso desde o rendimento até o custo de operação.

Barrichelo e Foelkel (1975) também encontraram menor teor de lignina na madeira de *Cecropia* sp e maior em eucalipto, sendo 22,2% e 25,8%, respectivamente. De acordo com a norma Tappi T 222 om-98, o teor de lignina em espécies arbóreas varia entre 19 a 30%. Pereira et al. (2000) ao estudarem espécies de eucaliptos plantadas no Brasil, observaram teor de lignina de 25,2% em *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade. Já Gomide et al. (2010) observaram valor ainda maior em clones de *Eucalyptus*, com média de 27,3%.

Enquanto o teor de lignina é uma notável vantagem para a fabricação de carvão vegetal e para uso combustível da madeira, para produção de celulose e papel interessa madeiras com menores teores de lignina. De forma geral, a cada redução de 1,2 a 1,5% no teor de lignina da madeira, corresponde um aumento de 1% no rendimento em produção de celulose Kraft. Ainda mais, o teor de álcali ativo se reduz em 0,2 a 0,3% base madeira seca para essa mesma redução percentual do teor de lignina (FOELKEL, 2013).

Dos componentes químicos da madeira, a lignina e os extrativos são os que mais influenciam no processo de polpação, pois consomem grande parte do álcali ativo, diminuem rendimento, exigem maior consumo específico de madeira e consequentemente aumentam os custos de produção.

Por fim, e ao contrário desses, a holocelulose é muito desejada pelos fabricantes de papel, pois constitui as hemiceluloses e a celulose. A Tabela 8 mostra

que a *Cecropia palmata* apresentou 76,51% de holocelulose, enquanto o *Eucalyptus grandis* 73,29%. Essa porcentagem atingida pela imbaúba é alta e boa para produção de papel e celulose. Quanto maior a quantidade de holocelulose, melhor e mais desejável a madeira. Pois proporciona maiores rendimentos, menor consumo específico de madeira e maiores ganhos de produção com custos reduzidos.

Valores inferiores de holocelulose são encontrados em espécies de Pinus e Eucaliptos que são usadas como matéria-prima para papel. Bassa et al. (2007) observaram holocelulose em clone de *E.grandis* x *E.urophylla* de 68,90% e em *Pinus taeda* 66,44%.

A Figura 18 dispõe os resultados individuais das árvores para melhor análise da composição química. Os teores de extrativos, lignina e holocelulose da *C. palmata* se caracterizaram por apresentar um baixo coeficiente de variação entre as árvores (12,85%, 4,91% e 2,33%, respectivamente). Os teores de extrativos e de lignina apresentaram maior variação para o *E. grandis* (CV=22,69 e 5,34%).

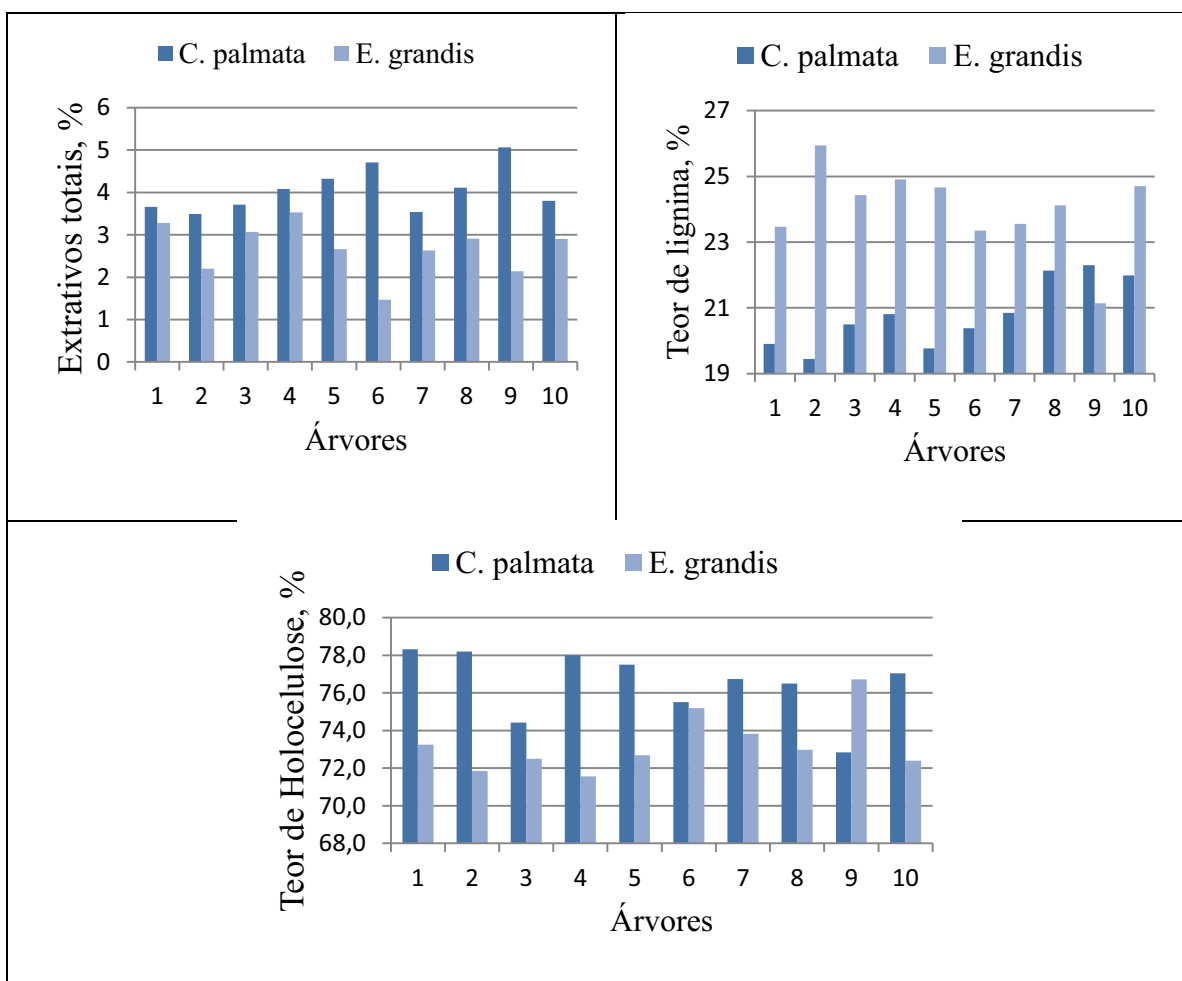


Figura 18. Resultados individuais das árvores para a composição química da madeira.

7.4. Polpação Kraft

A Tabela 9 apresenta os resultados do cozimento Kraft da *C. palmata* com 14 % de álcali ativo.

Tabela 9. Resultados médios da polpação Kraft da *C. palmata* utilizando 14% de álcali ativo.

Espécie	<i>Cecropia palmata</i>
Rendimento bruto, %	54,29
Rendimento depurado, %	43,19
Rejeitos base madeira, %	11,1
Rejeitos base celulose, %	20,39
Número Kappa	25,4
Consumo específico de madeira, m ³ /t cel. as.	6,2

Percebe-se que o percentual de rendimento bruto é alto, sendo de 54,29%. Os teores de rejeitos base madeira e base celulose também apresentaram-se bastante elevados, o que explica o rendimento depurado ter sido tão abaixo do esperado (43,19%). Geralmente, em cozimentos normais, onde a madeira demonstra bons resultados de polpação, a diferença entre o rendimento bruto e o depurado é pequena, havendo também, baixos teores de rejeitos.

Santos e Sansígolo (2007) ao estudarem clones de *Eucalyptus* utilizando álcali ativo 13,5%, encontraram bons resultados, com pequena diferença entre rendimento bruto e depurado, sendo essa de 0,16% para clones de baixa densidade e 0,31% para clones de alta densidade. Conseqüentemente, esses apresentaram baixos teores de rejeitos.

Os teores de extrativo e de lignina total consomem grande parte do licor branco nos primeiros minutos de cozimento. Quando a polpação alcança a temperatura máxima, onde normalmente deve ocorrer maior deslignificação da celulose, esta não se deslignifica por falta de licor e resulta em baixos rendimentos e altos teores de rejeitos. Como já visto, o teor de extrativos totais da *C. palmata* é moderadamente elevado com 4,05%, podendo ter sido responsável pelo consumo de álcali ativo e influenciado nos resultados da polpação.

A Figura 19 mostra a quantidade de rejeitos após o primeiro cozimento, é possível observar pedaços praticamente inteiros de cavacos que não foram deslignificados.



Figura 19. Quantidade de rejeitos após cozimento da imbaúba com 14% de álcali.

O número Kappa é outro resultado importantíssimo na polpação Kraft, pois demonstra o grau de deslignificação da madeira, onde, menor número Kappa significa que houve melhor dissociação da lignina nas fibras. A imbaúba em cozimento com 14% de álcali apresentou número Kappa 25,4 considerado alto quando comparado ao que geralmente se busca na polpação Kraft. De acordo com Queiroz (2004) têm sido aplicadas diferentes cargas de álcali para se obter polpas com número Kappa $18 \pm 0,5$.

Resquin et al. (2006) ao estudarem a qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus*, encontraram Kappa que variou de 16,5 a 21,5. Segundo os autores, valores de número Kappa acima de 20 são considerados altos para as classes de polpa branqueada. Para polpa não branqueada, Foelkel (2007) diz que o Kappa utilizado normalmente na polpação Kraft esta entre 16 a 19. O autor declara que o número Kappa tem sua influência sobre o teor de rejeitos, de modo que, cozimentos para Kappa 14 a 16 proporcionam teores de rejeitos mais baixos do que cozimento com Kappa 17 a 19.

Embora o comum pelas indústrias seja usar Kappa próximo de 18, nada impede que número Kappa mais elevado seja utilizado. Frinhani e Daltoé (2012) compararam as propriedades físico-mecânicas de polpas celulósicas com Kappa 45 e Kappa 100, sendo estas destinadas a fabricação de papéis para embalagens rígidas. Os autores encontraram grandes vantagens para o Kappa 100, mostrando que diferentes números Kappa podem ser utilizados, variando de acordo com o produto final ao qual se destinará a celulose.

Em relação ao consumo específico da madeira (CEM), este também se mostrou alto do ponto de vista da polpação química ($6,2 \text{ m}^3/\text{t cel.}$). Morais (2011) afirma

que o CEM pelas indústrias de papel e celulose varia de 3,55 a 4,50 m³ por tonelada de celulose produzida.

Quanto maior a quantidade de madeira consumida para cada tonelada de celulose, maiores serão os custos de produção, desde o manejo no campo até as operações dentro da fábrica.

No geral, como os resultados do primeiro cozimento não foram satisfatórios para a *C. palmata*, considerou-se desnecessário o mesmo cozimento com 14% de álcali ativo para o *E. grandis* para comparação. Com o intuito de alcançar melhores resultados do cozimento para a celulose de *C. palmata* um segundo cozimento foi realizado com carga álcali mais elevada (16%), onde este foi realizado para as duas espécies. A Tabela 10 apresenta os resultados do cozimento.

Tabela 10. Resultados médios da polpação Kraft utilizando 16% de álcali ativo

Espécie	<i>Cecropia palmata</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Rendimento bruto, %	50,28 b	52,26 a
Rendimento depurado, %	49,89 b	51,7 a
Rejeitos base madeira, %	0,39 a	0,56 a
Rejeitos base celulose, %	0,75 a	1,07 a
Número Kappa	18,2 a	19,1 a
Consumo específico de madeira, m ³ /t cel. as.	5,26 a	4,27 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%

Observa-se que os resultados da polpação para a *C. palmata* com 16% de álcali ativo demonstrou-se melhor do que no primeiro cozimento com álcali 14%. Apesar de o rendimento bruto diminuir, o rendimento depurado teve um aumento bastante significativo. Na produção de polpa, o interessante é que o rendimento depurado seja o mais alto possível e com valores mais próximos do rendimento bruto, na Tabela 10 percebe-se que no segundo cozimento essa proximidade foi maior do que no primeiro cozimento.

Consequentemente, com o aumento do rendimento depurado, os teores de rejeitos base madeira e base celulose diminuíram significativamente, com queda de 10,71% e 19,64% respectivamente. Outro resultado bastante relevante no segundo cozimento é do número Kappa, este teve redução de 25,4 para 18,2 e o consumo específico de 6,20 para 5,26.

Ao se comparar a imbaúba com o *Eucalyptus grandis* na Tabela 10, percebe-se que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey no nível de 5% para o rendimento bruto e depurado, sendo os maiores rendimentos para o *Eucalyptus grandis*. Gouvêa et al. (2009) encontraram rendimento depurado para clones de eucalipto que variaram de 50,3 a 52,9%, próximos ao encontrado para a espécie nativa e para a exótica desse estudo.

O rendimento da polpação é de extrema importância, quanto maior o rendimento, menor será o consumo específico de madeira, o que diminui os resíduos sólidos a serem descartados pela indústria e menores serão os custos de produção.

Devido a embaúba ter apresentado menor teor de lignina e mais elevado teor de holocelulose que o *E. grandis*, esperava-se que o rendimento da espécie nativa fosse maior, pois quanto menor o teor de lignina mais fácil a deslignificação e consequentemente maior o rendimento depurado. Porém, o resultado foi contrário ao esperado. Acredita-se que um dos fatores que tenha influenciado para este fim, tenha sido a densidade básica moderadamente baixa da espécie nativa e/ou talvez a estrutura da lignina dessa espécie seja diferenciada e por isso, mais rígida e de difícil deslignificação.

O uso de carga alcalina mais elevada possibilita a diminuição do número Kappa e dos teores de rejeitos, por degradar com maior facilidade a lignina entre as células e os extrativos da madeira. Porém, nesse processo de deslignificação das fibras, pode haver também maior degradação dos polissacarídeos da celulose e das hemiceluloses, podendo ocasionar a queda de rendimento e aumento do consumo específico da madeira. Isso ajuda a explicar o fato de que no segundo cozimento ocorreu queda do número Kappa e no teor de rejeitos, mas também houve diminuição do rendimento bruto.

No entanto, outros fatores como a densidade, os componentes químicos da madeira e até mesmo o tamanho dos cavacos podem influenciar no processo de cozimento, ocasionando rendimentos maiores com uso de carga alcalina menor. Barrichelo e Foelkel (1975) ao estudarem espécies nativas e exóticas da Amazônia para produção de papel e celulose usaram cargas alcalinas diferentes, 12% para a embaúba e 13% para o eucalipto, os autores observaram maiores rendimentos para a espécie com carga alcalina menor, sendo 59,2% de rendimento bruto e 57,2% de rendimento depurado para a embaúba e para o eucalipto 50,2% e 49,5% respectivamente.

Foelkel (2009c) declara que o processo químico ideal seria aquele que removesse apenas a lignina e toda ela. O processo kraft, segundo o autor, tem

maravilhosas vantagens econômicas e energéticas, mas infelizmente oferece uma deslignificação desuniforme, que se convertem em rejeitos não cozidos na saída do digestor.

Os teores de rejeitos base madeira e base celulose, por sua vez, não apresentaram diferenças significativas entre as duas espécies. Com percentuais menores para a *Cecropia palmata* (0,39 e 0,75%). Frazão (1990) ao estudar cinco espécies nativas da Amazônia encontrou teores de rejeitos que variaram de 0,28 a 4,54%.

O número Kappa mais elevado foi encontrado no *Eucalyptus grandis* (19,1%), porém não houve diferença significativa em relação à imbaúba (18,2%). Já o consumo específico da madeira (CEM) demonstrou diferente estatisticamente, com valor superior para a *C. palmata* (5,26 m³/t cel. as), o que já se esperava, pois o resultado do CEM é consequente do rendimento no processo de polpação e da densidade básica da madeira. Onde madeiras de menor densidade podem ocasionar menores rendimentos de polpa, que conseqüentemente irá exigir maior consumo de madeira para produzir uma mesma quantidade de polpa que uma espécie de maior densidade. Como já observado, a *C. palmata* apresentou densidade e valores de rendimentos menores do que a espécie de *E. grandis*, o que explica seu elevado valor do CEM.

Santos e Sansígolo (2007) ao estudarem a influência da densidade da madeira na qualidade da polpa branqueada, observaram que o clone de *Eucalyptus* de menor densidade também apresentou maior consumo específico de madeira. Guerra et al. (2008) observaram que o consumo específico de 14 clones de *Eucalyptus globulus* variaram de 3,6 a 5,0 m³/t e que esses se correlacionam com a variação da densidade e do rendimento. Segundo os autores, uma pequena redução no CEM pode representar uma melhoria significativa na produção de madeira por unidade de área cultivada, por exemplo, alterar uma plantação de madeiras que gere CEM 5,0 m³/t por uma de 3,6 m³/t, representaria uma redução significativa na quantidade de madeira necessária para produzir cada tonelada de celulose. O que conseqüentemente afetaria nos custos de produção.

Outros estudos mostram que o consumo específico de madeira varia de acordo com a matéria-prima madeira, pois cada espécie possui características físicas e químicas diferentes uma das outras. Gomide et al. (2010) observaram em clones de *Eucalyptus* consumo específico de 4,11 m³/t cel. Sansígolo e Ramos (2011) encontraram para *Eucalyptus grandis* variação de 3,06 a 5,9 m³/t de cel., e Sable et al. (2012) observaram na espécie de *Pinus sylvestris* média de 4,7 m³/t.

A Figura 20 apresenta os resultados individuais do cozimento com 16% de álcali ativo, para melhor observação dos dados. Houve grande dispersão entre médias para as duas espécies na porcentagem de rejeitos base madeira e rejeitos base celulose, onde o *E. grandis* demonstrou CV= 66,28 e 63,28%, enquanto a *C. palmata* apresentou CV= 181,11 e 176,40%, respectivamente. O rendimento bruto e depurado resultou em baixa variação entre as médias, a *C. palmata* com CV= 4,46 e 3,85% e o *E. grandis* CV=3,52 e 3,12% respectivamente.

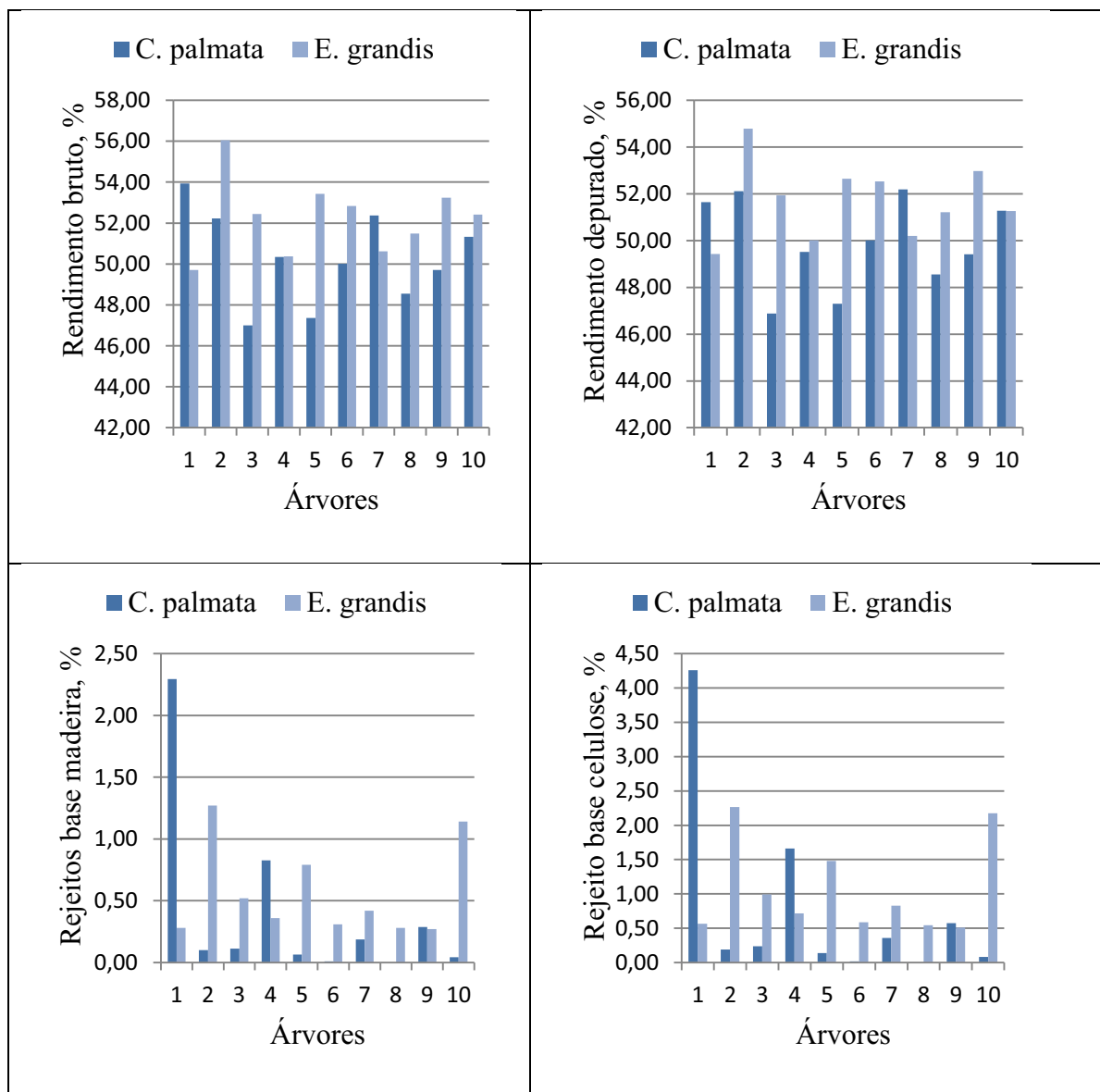
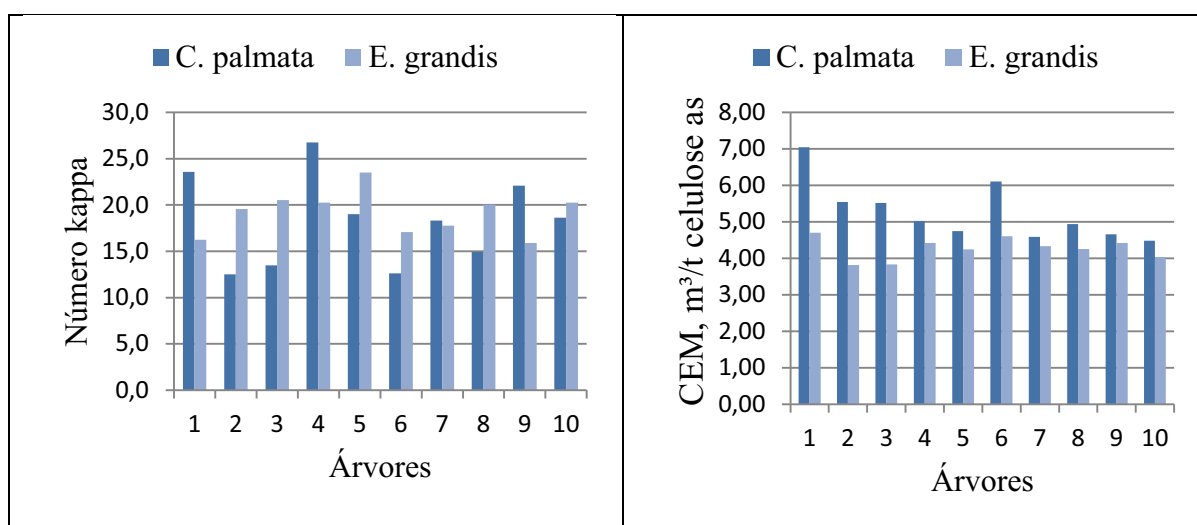


Figura 20. Resultados individuais das árvores para a polpação Kraft com 16% de álcali ativo.

Continuação da Figura 20. Resultados individuais das árvores para a polpação Kraft com 16% de álcali ativo.



7.5. Análise morfológica das fibras

7.5.1. Classificação das fibras em Bauer McNett

A Tabela 11 apresenta a classificação das fibras em classificador Bauer McNett.

Tabela 11. Classificação das fibras da polpa de *Cecropia palmata* e *Eucalyptus grandis* em classificador Bauer McNett.

	Aberturas das peneiras do classificador (mesh)					
	P >16	P 16-30	P 30-50	P 50-100	P 100-200	P <200
(%) Retenção <i>Cecropia palmata</i>	5,5	63,7	20,7	3,8	1,2	5,3
(%) Retenção <i>Eucalyptus grandis</i>	0,7	43,0	41,4	9,1	2,1	5,5

Sendo: P = percentual em massa retido em cada peneira do classificador. Os números que acompanham o P representam as aberturas da peneira.

O classificador de fibras Bauer McNett é composto por cinco tanques em cascata, onde um agitador circular e água corrente permitem que as fibras façam passagem de um tanque para o outro atravessando uma tela com aberturas decrescentes (TAPPI 233 cm-82). Portanto, fibras longas a médias tendem a ficar suspensas nas primeiras telas (>16 e 16-30), enquanto fibras curtas ou partículas ainda menores chamadas de “finos” são barradas nos últimos tanques, onde a abertura das peneiras chega a 200 mesh (TAPPI 233 cm-95).

Nas espécies em estudo, observa-se que as peneiras com aberturas 16-30 e 30-50 mesh foram as que reteram maior quantidade de fibras para as duas espécies.

Sendo para a espécie nativa valor significativamente superior na peneira de 16-30 mesh (63,7%). Esses resultados mostram que a madeira de *C. palmata* é constituída por fibras mais longas que o *E. grandis*, que apresentou fibras bem distribuídas nas peneiras 16-30 e 30-50 mesh, significando fibras mais curtas. Esse resultado vai ao encontro com o que Foelkel (2009a) declara, ao dizer que, a maioria das espécies de *Eucalyptus* possui fibras curtas, estreitas e rígidas.

Dores et al. (2007) afirmam que cada tipo de papel fabricado exige um tipo de fibra diferente, pelo fato de as fibras curtas e longas terem características mecânicas diversas. As fibras curtas, que proporcionam maior opacidade e maciez, são utilizadas para fabricar papéis de imprimir e escrever, papéis sanitários e alguns tipos de cartão. As fibras longas proporcionam maior resistência mecânica e são utilizadas para papéis de embalagem, impressão, papelão ondulado e outros. De acordo com os autores, no Brasil, as fibras longas são obtidas, principalmente, da madeira de pinus e as curtas, da madeira de eucalipto.

O processo de obtenção de fibras longas de pinus é muito mais exigente e os custos são mais elevados do que em polpação de madeira de eucalipto, devido o maior teor de extrativos e lignina na madeira. Sendo assim, as polpas de fibras longas são vendidas por preços mais elevados que polpas de fibras curtas de eucalipto, como ressaltado por Cotterill e Macrae (1997).

Apesar dos custos mais elevados de produção e de mercado para fibras longas, essa possui excelentes características, fornecendo qualidade ao papel produzido. Sable et al. (2012) observaram que as fibras longas de *Pinus contorta* se mostraram mais flexíveis, com melhor ligação entre fibra e melhor influência em propriedade mecânica do papel que o *Pinus sylvestris* de fibras curtas. Comelato et al. (2013) concluíram que maiores comprimentos de fibras apresentaram maiores índices de rasgo.

O mercado de fraldas brasileiras utiliza fibras longas de madeira, que proporcionam maior absorção de líquidos e por serem mais resistentes. Essas fibras, importadas, têm um preço bastante elevado. A *Cecropia palmata* por apresentar fibras mais longas que o *E. grandis*, poderia ser estudada para ser utilizada na fabricação de fraldas, suplementando essas fibras longas importadas e de alto preço. Isso acarretaria em maior economia aos fabricantes de fraldas e valorização de nossas espécies nativas.

O objetivo desse trabalho não é substituir as espécies de *Pinus* ou *Eucalyptus* que muito são utilizadas para produção de celulose e papel no Brasil e no mundo, por *C. palmata*. Mas, acrescentar ao mercado uma nova opção de matéria-prima fibrosa, atingindo principalmente pequenos e/ou novos nichos de mercado.

Por fim, pelo exposto na Tabela 11 percebe-se que o percentual de fibras <200 mesh foi igualmente semelhante para as duas espécies, sendo 5,3 % para *C. palmata* e 5,5% para *E. grandis*.

7.5.2 Morfologia das fibras em FQA (Fiber Quality Analyzer)

A Tabela 12 apresenta os resultados da morfologia das fibras em FQA das espécies *C. palmata* e *E. grandis*.

Tabela 12. Resultados médios da morfologia das fibras de celulose Kraft das espécies *Cecropia palmata* e *Eucalyptus grandis*.

Parâmetros	Unidades	Médias	<i>C. palmata</i>	<i>E. grandis</i>
Comprimento	mm	L(n)	0,887	0,714
		L(lw)	1,289	0,832
		L(ww)	1,425	0,915
Largura	µm	-	26,37	18,53
Índice de curvatura		L(n)	0,0451	0,0348
		L (lw)	0,0428	0,035
“Coarseness”	mg/100m de fibra	-	23,55	13,23
População fibrosa	Milhões de fibras/g	-	5,7	12,1
Teor de Finos < 0,2 mm	%	L(n)	27,97	7,13
		L (lw)	3,7	1,27
Índice de torção		-	0,592	0,515
Ângulo de torção		-	13,15	7,46
Torção	mm	-	0,3	0,275

Observa-se na Tabela 12 que a *C. palmata* apresentou maiores médias de comprimento e largura que o *E. grandis*. Coincidindo com os resultados da classificação em Bauer McNett, que demonstrou fibras mais longas para a *C. palmata* pela sua elevada retenção nas primeiras peneiras. Santos (2005) ressalta que a largura das fibras é de fundamental importância, de modo que, fibras mais largas apresentam suas vantagens e desvantagem para as propriedades do papel. Segundo a autora fibras mais largas produzem papéis com menor resistência ao ar, maior volume específico aparente e maior

resistência ao rasgo, proporcionam maior facilidade de drenagem, influenciando positivamente na velocidade da máquina de papel devido ao maior teor seco obtido. Como desvantagem, as resistências à tração e ao arrebentamento são prejudicadas quando as fibras são mais largas, devido ao ajuste imperfeito das fibras no papel, prejudicando também as ligações entre fibras.

O resultado do “coarseness” mostra valor médio muito mais elevado para a *C. palmata* (23,55 mg/100m). Esse valor é semelhante ao encontrado por Menegazzo (2012) para a celulose de *Pinus* (23,31 mg/100m), o autor também observou valor inferior para espécie de *Eucalyptus grandis x urophylla* (6,67 mg/100m). De acordo com Bassa et al. (2007) o “coarseness” é influenciado pela espessura da parede da fibra e aumenta à medida que o comprimento da fibra aumenta, o que ajuda a explicar tão elevado “coarseness” para *C. palmata*, já que este apresentou comprimento e largura maiores que o *E. grandis*.

Segundo Foelkel (2009a) os valores médios de “coarseness” em espécies de *Eucalyptus* variam entre 5 a 11 mg/100m. De acordo com o mesmo autor o “coarseness” e a população fibrosa (milhões de fibras/g) relacionam-se muito bem com a densidade básica da madeira, com a fração parede das fibras, com seu comprimento e com muitas características de desempenho operacional (refinação, drenabilidade, drenagem, desaguamento, secagem, hidratação, etc.) e de qualidade dos papéis (porosidade, volume específico aparente, opacidade, etc.).

Conforme observado na Tabela 12 a população fibrosa da *C. palmata* mostrou-se inferior a de *E. grandis* (5,7 e 12,1 respectivamente) que também é afetada pela largura e comprimento das fibras, de forma que, a medida em que aumenta a largura e o comprimento, aumenta o “coarseness” e diminui a população fibrosa, e vice-versa, o que pode ser observado em trabalho realizado por Campos et al. (2000) que estudaram espécies brasileiras e internacionais de *Eucalyptus* para fabricação de papel e Menegazzo (2012).

O teor de finos por média aritmética e média ponderada por peso apresentou-se superior para a espécie nativa 27,97 e 3,7% respectivamente contra 7,13 e 1,27% respectivamente para o *E. grandis*. Menegazzo (2012) observou em híbrido de *E. grandis x E. urophylla*, de menor densidade, teor de finos inferior ao encontrado nesse estudo, sendo 5,5% por média aritmética. Os finos são elementos muito pequenos, inferior

às fibras. São células rompidas principalmente em processos mecânicos, como na formação de cavacos e refino da celulose. Os finos são importantes por contribuir na qualidade do papel. Por serem partículas muito pequenas, melhor se encaixam na formação da folha. Porém, em quantidades muito elevadas, podem significar perda de celulose, já que esses podem vir a atravessar a tela de formação, indo parar no licor branco.

O índice de curvatura assim como o índice de torção mostrou-se mais elevados para a *C. palmata*. A curvatura da fibra é o desvio da linha reta em relação ao eixo da fibra. As fibras na madeira são retas. Entretanto, as fibras se curvam durante a polpação, processamento da polpa e refino (ROBERTSON et al., 1999).

7.6. Refino e propriedades físico-mecânicas da polpa

O refino é um tratamento mecânico utilizado para aumentar a resistência da celulose e conseqüentemente do papel. Esse processo envolve o rompimento ou fratura das fibras, de forma que, quanto maior o tempo de refino, maior será o grau de desfibramento. Esse processo provoca aumento da área superficial de contato das fibras, permitindo que haja melhor ligação entre elas, fornecendo assim, papéis mais compactos e resistentes. O tempo de refino afeta diretamente as propriedades do papel.

A medição do nível do refino foi quantificada através do grau de Schopper Riegler (°SR), que mede a drenabilidade, ou seja, a dificuldade de a água escoar pela celulose. À medida que aumenta o número de revoluções ou o tempo de refinação, aumenta o °SR.

Na produção de papel de imprimir e escrever, normalmente utiliza-se celulosas com grau de refino na faixa de 30 a 40. Pois, por se tratar de um processo mecânico, graus muito elevados de refinamentos provocam grande ruptura ou desfibrilação das fibras, formando altas quantidades de finos. Os finos como já visto, são importantes por aumentar a resistência do papel, porém, em quantidades muito elevadas, pode significar perda de resistência da celulose.

A Tabela 13 apresenta os resultados da resistência físico-mecânica da celulose de *C. palmata* e *E. grandis*, pelo qual foram analisados por meio de estatística de regressão e correlação e os mesmos extrapolados para os graus 20, 30, 40, 50 e 60.

Observa-se na Tabela 13 que a celulose de *C. palmata* foi rapidamente refinada, atingindo Grau Schopper Riegler 40 quase no início da moagem, com 4504 revoluções, enquanto o *E. grandis* precisou de 8266 revoluções para atingir o

mesmo °SR. Resultado semelhante para a *Cecropia* sp. Foi encontrado por Barrichelo e Foelkel (1975), que observaram grau de refino 40 °SR com apenas 4500 revoluções. Segundo os autores, a embaúba é rapidamente refinada, o que significava economia de energia nesta operação.

O número de revoluções ou tempo de refino é importante por indicar o consumo de energia do processo. Madeiras que exigem muito tempo para atingir o grau de refino desejado causam grandes custos para as indústrias, pois o refino não é um processo barato, Cotterill e Macrae (1997) ressaltam que a quantidade de energia necessária para o refino é um dos principais custos na fabricação de papel.

Tabela 13. Propriedades de resistência físico-mecânicas da polpa de *Cecropia palmata* e *Eucalyptus grandis*.

Parâmetros	Grau Schopper Riegler	<i>C. palmata</i>	<i>E. grandis</i>
Nº de revoluções	20	2706	1558
	30	4504	4912
	40	6303	8266
	50	8101	11620
	60	9899	14974
Peso específico aparente, (g/cm ³)	20	0,355	0,328
	30	0,391	0,388
	40	0,427	0,448
	50	0,463	0,508
	60	0,499	0,568
Volume específico aparente (cm ³ /g)	20	2,690	2,946
	30	2,526	2,617
	40	2,362	2,288
	50	2,198	1,959
	60	2,034	1,630
Índice de tração (N.m/g)	20	24,03	32,70
	30	31,10	43,51
	40	38,17	53,30
	50	45,25	62,38
	60	52,32	70,94
Alongamento (%)	20	0,91	1,63
	30	1,23	3,27
	40	1,55	4,11
	50	1,86	4,15
	60	2,18	3,40

Continuação da Tabela 13. Propriedades de resistência físico-mecânicas da polpa de *Cecropia palmata* e *Eucalyptus grandis*.

Parâmetros	Grau Schopper Riegler	<i>C. palmata</i>	<i>E. grandis</i>
Índice de arrebentamento ou estouro (kPa.m ² /g)	20	2,39	1,56
	30	2,70	2,88
	40	3,01	3,80
	50	3,32	4,32
	60	3,63	4,44
Índice de rasgo (mN.m ² /g)	20	10,04	4,73
	30	16,55	12,65
	40	17,35	16,17
	50	14,23	15,29
	60	8,98	10,01
Resistência ao ar (s/100mL)	20	1,02	0,58
	30	6,05	2,69
	40	21,36	7,99
	50	56,85	18,57
	60	126,51	36,99

O peso específico aparente (PEA) e volume específico aparente (VEA) são inversos um do outro, à medida que o PEA aumenta, diminui o VEA. A *C. palmata* apresentou PEA = 0,427 g/cm³ e VEA = 2,362 cm³/g em Grau Schopper Riegler (°SR) 40, enquanto o *E. grandis* obteve PEA superior e igual a 0,448 g/cm³ e VEA inferior e igual a 2,288 cm³/g. Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Menegazzo (2012) que observou para a celulose branqueada de *Eucalyptus globulus* em °SR 44 PEA = 0,433 g/cm³ e VEA = 2,307 cm³/g.

Segundo Mokfienski et al. (2008), polpas não refinadas produzem papéis com maiores volumes específicos, onde esses são considerados importantes principalmente na fabricação de papéis sanitários, por apresentarem maior maciez e absorção de água. As polpas refinadas, ao contrário deste, produzem papéis com PEA elevado e VEA baixo, que proporcionam papéis mais densos e com menor maciez, sendo mais indicados para papéis de imprimir e escrever.

Observa-se na Tabela 13 que à medida que aumenta o grau de refino, aumentam os índices de tração, alongamento, arrebentamento e resistência ao ar. Isso ocorre porque quanto mais a polpa é refinada, maior é o desfibramento das fibras e maior a ligação e força entre elas, tornando o papel mais fechado, com menos espaços vazios e mais resistentes a esses índices.

O índice de tração para a celulose de *E. grandis* foi mais elevado nos diversos graus de refino avaliados quando comparado com a celulose de *C. palmata*. Estes valores mais elevados para a celulose de eucalipto podem ser atribuídos a maior quantidade de energia utilizada no refino destas (maior número de revoluções). Comportamento semelhante pode ser observado na resistência ao alongamento da folha de celulose das duas espécies.

Segundo Cotterill e Macrae (1997), o índice ou força de tração é um importante parâmetro comumente utilizado pelos fabricantes de papel para definir os níveis apropriados de refino da polpa. Onde valor aproximado a 70 N.m/g pode ser considerado como padrão para diversos usos finais aplicados a polpas de eucalipto branqueadas.

A resistência à tração é relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel, como, por exemplo, para embalagem e outros usos também sujeitos a forças de tensão direta. No caso de papéis de impressão, a resistência à tração indica a probabilidade de ruptura quando são sujeitos à tensão exercida durante o processo de impressão (MELO, 2008).

O índice de arrebentamento (ou estouro) da celulose de *C. palmata* foi inferior ao da celulose de *E. grandis* porque necessitou de menos refino para atingir os graus de refino pré-estabelecidos. Em Grau Schopper Riegler 40, o índice de estouro da *C. palmata* foi 3,01 kPa.m²/g e para *E. grandis* foi 3,80 kPa.m²/g. Barrichelo e Foelkel (1975) relatam valor de 6,96 kPa.m²/g em *Cecropia* sp. Campos et al. (2000) observaram em polpas brasileiras de eucalipto índice de arrebentamento igual a 4,91 kPa.m²/g em Grau Schopper Riegler 40. A Figura 21 mostra o teste de arrebentamento/estouro na folha de *C. palmata*.

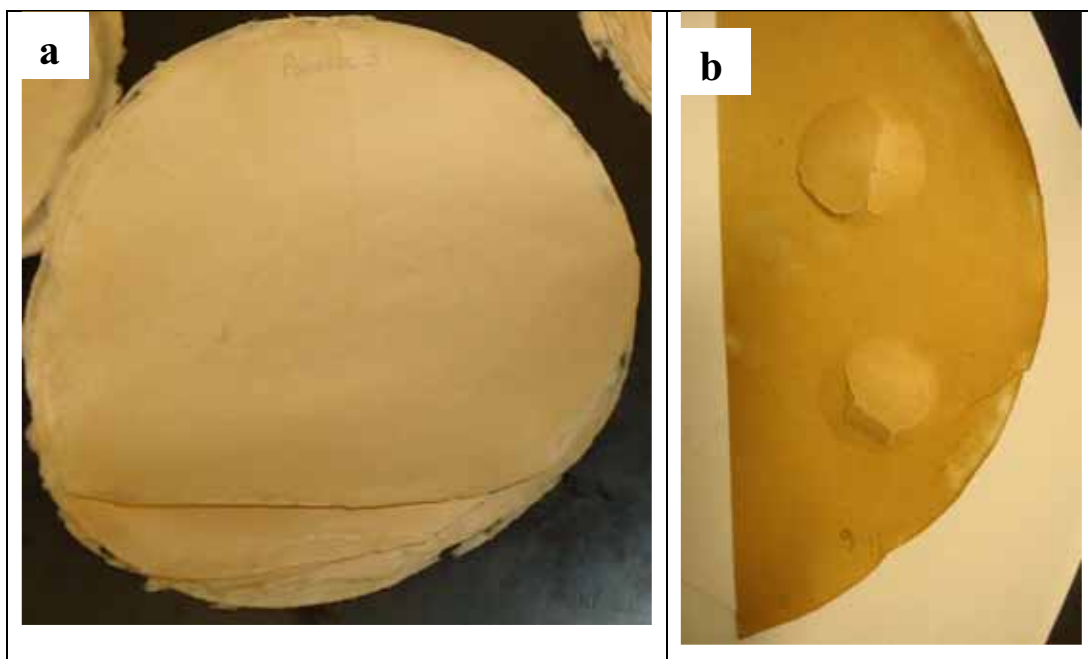


Figura 21. a) folhas de papel da *C. palmata*; b) corpo de prova após teste de arrebatamento/estouro.

A celulose de *C. palmata* caracterizou por apresentar valores mais elevados de resistência ao ar nos diversos níveis de refino analisados em relação à celulose de *Eucalyptus grandis*. Este comportamento pode ser atribuído, principalmente, ao elevado teor de finos observado na celulose de *C. palmata*, e detectado na análise da qualidade da fibra e mostrado anteriormente.

Esse teste mede o tempo necessário para uma determinada quantidade de ar sobre pressão para atravessar uma folha de papel. O resultado pode ser afetado pelo grau de refino, pela ligação entre fibras, PEA, VEA e teor de finos.

A celulose de *C. palmata* apresentou valores superiores de índice de rasgo nos graus de refinamentos 20, 30 e 40 em relação à celulose de *E. grandis*. Esta superioridade pode ser ao maior comprimento da fibra de *C. palmata*.

A resistência ao rasgo depende principalmente do comprimento e resistência intrínseca da fibra, diferindo das demais resistências (tração, alongamento e estouro) que dependem mais das ligações entre fibras.

Gráficos de regressão das resistências físico-mecânicas para os Graus Schopper Riegler estabelecidos estão apresentados no Apêndice 1.

7.7. Considerações finais

A *C. palmata* tem produtividade baixa em madeira, e apresentou pequenos valores em relação aos parâmetros dendrométricos quando comparado com o *Eucalyptus grandis*. Demonstrando valores inferiores em altura, DAP, massa seca da árvore e volume, além de elevado percentual de casca. Esse resultado pode representar alto custo de produção.

A composição química da madeira de *C. palmata* apresentou resultados positivos do ponto de vista papelero, com baixo teor de lignina (20,81%) e elevado teor de holocelulose (76,51%). Exceto o teor de extrativos que resultou em 4,05%, estando um pouco mais elevado e diferente estatisticamente do *E. grandis*.

A madeira nativa apresentou melhores resultados de polpação com o uso de álcali ativo 16%, ao invés de 14%.

Os resultados do segundo cozimento (16% álcali ativo) foram considerados positivos. O rendimento depurado teve um aumento significativo, chegando a 49,89% e consequentemente os teores de rejeitos tiveram grande queda em seus percentuais. Os teores de rejeitos base madeira diminuíram 10,70% e base celulose 19,64%. Os resultados finais desses rejeitos não apresentaram diferenças significativas com o *E. grandis*. Outro fator importante que é o número Kappa também não apresentou diferença estatística, mostrando-se dentro do valor aplicado pelas indústrias.

O consumo específico de madeira continuou elevado no segundo cozimento, 5,26 m³/t cel. É possível que a densidade básica moderadamente leve (0,389 g/cm³) da imbaúba e o elevado teor de extrativos da madeira tenham influenciado no rendimento da polpação e consequentemente no elevado CEM.

Na classificação das fibras em Bauer McNett, a *C. palmata* constituiu de fibras mais longas que o *E. grandis*, coincidindo com os resultados da morfologia das fibras em FQA (Fiber Quality Analyzer), onde a espécie nativa apresentou fibras de maior comprimento e largura. Esse resultado mostra que a celulose de imbaúba pode ser utilizada na fabricação de papéis mais rígidos, como papelões ou papéis de embalagem, devido a maior resistência das fibras.

Também na morfologia das fibras em FQA a celulose de *C. palmata* apresentou maior “Coarseness”, menor população fibrosa, maior teor de finos e maior índice de torção.

No grau de refino a celulose de imbaúba atingiu grau Schopper Riegler 40 muito rapidamente, com apenas 6303 revoluções. Isto significava que a espécie proporciona economia de energia nesta operação.

Nas propriedades físico-mecânicas do papel, a imbaúba apresentou menor índice de tração e estouro que o *E. grandis*, maior índice de rasgo e valores muito elevados de resistência ao ar. Quanto ao índice de qualidade, as duas espécies apresentaram igual valor (3,7).

Como resumo dos resultados, a Tabela 14 apresenta uma análise onde sinais de mais (+) e menos (-) foram utilizados para demonstrar qual espécie obteve melhores desempenhos nos parâmetros de qualidade estudados. Sinais positivos (+) não representam valor mais elevado do resultado, e sim melhor desempenho no determinado parâmetro. Para esse resumo de resultados apenas os dados do segundo cozimento (com 16% álcali ativo) foi considerado.

Tabela 14. Resumo dos resultados com uso de sinais positivos e negativos (+ e -) para representar a espécie que obteve melhor desempenho em cada parâmetro de qualidade.

Parâmetros	<i>C. palmata</i>	<i>E. grandis</i>
Parâmetros dendrométricos	-	+
Densidade básica	+	-
Teor de extrativos	-	+
Lignina Insolúvel	+	-
Holocelulose	+	-
Rendimento	-	+
Teor de rejeitos	+	-
Número Kappa	+	-
CEM	-	+
Consumo de energia para determinado °SR	+	-
Índice de tração	-	+
Índice de estouro	-	+
Alongamento	-	+
Índice de rasgo	+	-
Resistência ao ar	+	-

8 CONCLUSÃO

A *Cecropia palmata* respondeu muito bem ao cozimento com 16% de álcali ativo, por apresentar baixo teor de lignina e elevado teor de holocelulose, apresentando bom rendimento depurado, baixo teor de rejeitos e baixo número Kappa. Além do que, a celulose atinge rápido grau de refino e com índices de rasgo e resistência ao ar elevado. A celulose é constituída por fibras mais longas que o *E. grandis*, por isso pode ser indicado para fabricação de papéis que exigem maior resistência, como papéis de embalagens. As propriedades morfológicas das fibras de imbaúba, como elevado teor de finos, maior “coarseness” e menor população fibrosa, também favorecem a espécie. Porém, a *C. palmata* apresentou baixa produtividade, elevado teor de extrativos na madeira e alto CEM, o que aumentam os custos de produção.

9 RECOMENDAÇÕES

Para melhorar as propriedades finais da *Cecropia palmata* para produção de celulose e papel, ficam como sugestões:

- utilização da espécie em plantios florestais e melhoramento genético para o aumento de sua produtividade e diminuição dos extrativos da madeira. Isso acarretaria na diminuição dos custos, desde o transporte até o processo de produção da celulose. Com menor teor de extrativos na madeira, a *C. palmata* poderá consumir menor quantidade de álcali ativo no cozimento e proporcionar maiores rendimentos e menores teores de rejeitos, o que conseqüentemente afetará no CEM;

- quanto à alta percentagem de casca nas árvores, recomenda-se que o descascamento das mesmas seja realizado na floresta, para minimizar os custos de transporte e não haver acúmulo de resíduos nas fábricas.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP M14/70. **Densidade básica da madeira** - Associação Brasileira de Celulose e Papel. 1970.

ALMEIDA, L. S. de. et al. Fitossociologia e uso múltiplo de espécies arbóreas em floresta manejada, Comunidade Santo Antônio, município de Santarém, Estado do Pará. **Acta Amazônica**. v.42, n. 2, p. 185-194, 2012.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 133p. 2004.

AZZINI, A. et al. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 55, n. 2, p. 293-297, 1996.

BARREIROS, R.M. et al. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa – MG.v.31, n.1, p.103-111, 2007.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. **Utilização de madeiras de essências florestais nativas na obtenção de celulose: Bracatinga (*Mimosa bracatinga*), Embaúba (*Cecropia Sp*), Caixeta (*Tabebuia cassinoides*) e Boleira (*Joannesia princeps*)**. Departamento de Silvicultura ESALQ/USP. IPEF. n.10, p.43-56, 1975.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A utilização da madeira na produção de celulose. Piracicaba: IPEF. **Circular técnica**, n. 68. 12p. 1979.

BASSA, A. G. M. C. et al. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**. Piracicaba – SP. n. 75, p. 19-29, 2007.

BERG, C. C. Espécies de *Cecropia* da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**. p.149-182. 1978.

- BETINI, M. A.; GALATTI, P. E. **Curso de pasta mecânica**. Monte Alegre: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1995.
- BRASIL, M. A. M. et al. Variação das características e das propriedades físico-mecânicas com refinação da celulose sulfato de madeira de *Eucalyptus saligna* SMITH. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF**. n.5, p.33-45, 1972.
- CAMPOS, E. S. et al. Seleção de critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de Eucalipto na fabricação de papéis para impressão “Offset”. **Ciência Florestal** – Santa Maria. v.10, n.1, p.57-75. 2000.
- CARNEIRO, A. de C. O. et al. Efeito da hidrólise ácida dos taninos de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden nas propriedades dos adesivos tânicos. **Revista Árvore**. Viçosa – MG.v.33, n.4, p.733-739, 2009.
- CARVALHO, L. T. de. et al. Conhecendo espécies de plantas da Amazônia: Imbaúba-vermelha (*Cecropia palmata* Willd. – Urticaceae). **Comunicado Técnico 238**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/956085/1/OrientalComTec238.pdf>> acesso em: 20 mai. 2014.
- CORREA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro. Imprensa Nacional - Ministério da Agricultura. v. 4, 1984. 765p.
- COSTA, V. E.; REZENDE, M. A. Produtividade de reflorestamentos de seminal, clone e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* na região de Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**. v.23, n.2, p.115-128, 2008.
- COMELATO, J. S. et al. Geração de finos no branqueamento de pasta kraft de eucalipto e seu efeito nas propriedades do papel. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.1, p.181-189, 2013.
- COTTERILL, P.; MACRAE, S. Improving *Eucalyptus* pulp and paper quality using genetic selection and good organization. **Tappi Journal**.v. 80, n. 6, p. 82-89, 1997
- CSURHES, S. 2008. **Pest plant risk assessment: Cecropia**. Online report. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland Government, Brisbane, Australia. Disponível em: <https://www.daff.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0011/68969/IPA-Cecropia-Risk-Assessment.pdf> acesso em 13 jan. 2015.
- DI STASI, L. C.; HIRUMA-LIMA, C. A. **Plantas medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica**. 2 ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora UNESP, 604 p. 2002.
- DORES, A. M. B. das. et al. **Panorama setorial: Setor Florestal, Celulose e Papel**. BNDES. 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/co nhecimento/liv_perspectivas/04.pdf> acesso em 09 jul. 2014.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa – MG. 119p. 2012.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Mega diversidade**. v.1, p.113-123, 2005.

FERREIRA, J. C. V. **Mato Grosso e seus Municípios**. Cuiabá: Secretaria de Estado da Cultura, 1997. 668 p.

FERREIRA, C. R. et al. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 – qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**. n.70, p.161-170, 2006.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – Standard terms for describing wood. USDA. **Forest Service**. Forest Products Laboratory research Paper, Madison, (0171): p.1-10, 1973.

FONSECA, C.N.; LISBOA, P.L.B.; URBINATI, C.V. A xiloteca (Coleção Walter A. Egler) do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais**, Belém.v.1, n.1, p. 65-140, jan-abr. 2005.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n.2/3, p.65-74,1971.

FOELKEL, C. Resíduos sólidos industriais da produção de celulose Kraft de eucalipto. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**.78p.2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 21 mai. 2014.

FOELKEL, C. Propriedades papelarias das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos Eucaliptos. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**.111p. 2009a.Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 14 mai. 2014.

FOELKEL, C. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de Eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**.97p. 2009b. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

FOELKEL, C. O. Individualização das fibras da madeira do Eucalipto para a produção de celulose Kraft. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**.107p. 2009c.Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

FOELKEL, C. Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo Kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. Cap. 31, 370p. 2013. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

FORRESTER, D.I; SMITH, R.G.B. Faster growth of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus pilularis* in mixed-species stands than monocultures. **Forest Ecology and Management**, 286, p.81-86, 2012.

FRAZÃO, F. J. L. **Utilização de madeiras de espécie nativa e exóticas da Amazônia visando a produção de celulose Kraft**. In: Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, 23 - São Paulo, p. 49-62. 1990.

- FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de Eucaliptos e Acácia Negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.9, n.1, p.193-209, 1999.
- FRINHANI, E. M. D.; DALTOÉ, R. Comparação das propriedades físico-mecânicas de polpas celulósicas Kappa 45 e Kappa 100 destinada à fabricação de papéis para embalagens rígidas. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 3, n. 1, p. 65-74. 2012.
- GAGLIOTI, A. L. **Urticaceae Juss. no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente. São Paulo. 209p. 2010.
- GONÇALVES, S. M. L. **Utilização de resíduos agronômicos da mandioca para fabricação de papéis especiais como recurso alternativo para a comunicação visual**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu. 146p. 2007.
- GOMIDE, J. L.; OLIVEIRA, R.C.; COLODETTE, J. L. Produção de polpa Kraft de eucalipto, com adição de antraquinona. **Revista Árvore**.v. 4, n. 2,p.203-214, 1980.
- GOMIDE, J. L.; VIVONE, R. R.; MARQUES, A. R. Utilização do processo soda/antraquinona para produção de celulose branqueável de *Eucalyptus sp.* In: Congresso anual de celulose e papel da ABTCP. São Paulo. **Anais**. 1987.
- GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.29, n.1, p.129-137, 2005.
- GOMIDE, J. L. et al. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.34, n.2, p.339-344, 2010.
- GOUVÊA, A. de F. G. et al. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de Eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.33, n.6, p.1175-1185, 2009.
- GUERRA, A. et al. Influence of lignin structural features on *Eucalyptus globulus* Kraft Pulping. **Industrial & Engineering Chemistry Research**.v. 47, n. 22, p. 8542-8549, 2008
- IMPORTÂNCIA do Eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista Madeira**. ed. 59, 2001.
- IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônia**. v. 40, n. 2, p.303-308, 2010.
- KLOCK, Umberto. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus Maximinoi H. E. Morre***. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 324p. 2000.
- KLOCK, Umberto. et al. **Química da Madeira**. 3 ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Fupef, 2005. 86p. (Série didática).

MACHADO, S. R.; BARBOSA, S. B. **Manual de procedimentos – Herbário BOTU.** 18p. 2010. Disponível em <http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/Herbario/Manual_Herbario_BOTU.pdf>. Acesso em: 01 abr.2014.

MARTINS, E.G.A.; PIRANI, J.R. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Urticaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo.** 28(2): 161-173. p.161-173. 2010.

MELO, P. T. H. de. **Estudo das propriedades físico-mecânicas do papel a ser submetido ao 4º EETCG – Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais.** IV Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. 2008. Disponível em:<http://www.4eetcg.uepg.br/oral/29_1.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2014.

MENDONÇA, E. N. *Cecropia glaziovii*: Embaúba. In: Ministério do Meio Ambiente. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro – Região Sul.** Brasília: MMA, 2011. p.582-585.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celulosas branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras.**Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu. 59p. 2012.

MEYER, J.-Y; MALET, J.-P. 1997. **Study and management of the alien invasive tree *Miconia calvescens* DC. (Melastomataceae) in the islands of Raiatea and Tahaa (Society Islands, French Polynesia): 1992-1996.** University of Hawaii at Manoa, Coop. Nat. Park Res. Studies Unit, Technical Report 111.

MOKFIENSKI, A. et al. A importância relativa da densidade de madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v.18, n.3, p.407-419, 2008.

MUNIZ, F. H. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. **Acta Amazonica.** v. 38, n.4, p. 617–626. 2008.

NASCIMENTO, A. C. et al. Influência de fibras recicladas nas propriedades físico-mecânicas do papel. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** v.1, n. 1, p.63-71, 2009.

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliação dendrométrica das árvores. **Scientia Forestalis.** n.56, p. 113-124, 1999.

OLIVEIRA, P. C. de; CARVALHO, C. J. R. de. Interações biofísicas em espécies arbóreas potencialmente acumuladoras de fósforo: diversidade de irradiância e de comportamento hídrico. **Acta Amazônica.** v.38, n. 3, p. 455-452, 2008.

OLIVETTI NETO, A. Qualidade de cavacos de eucalipto para obtenção de celulose Kraft. Congresso Iberoamericano de investigación en celulosa y papel. 18p. 2002

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1970. V.1 705p.

PARK, J.Y. et al. Enhancement of enzymatic digestibility of *Eucalyptus grandis* pretreated by NaOH catalyzed steam explosion. **Bioresource Technology**, 123, p.707-712, 2012.

PAROLIN, P. Life history and environment of *Cecropia latilobain* Amazonian floodplains. **Revista de Biologia Tropical**. v.50, n.2, p. 531-545, 2002.

PAULA, J. E. de. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v.33, n.2, p. 243-262. 2003.

PEDRAZZI, C. et al. Avaliação das Propriedades Físico-mecânicas de Polpas Produzidas por Novas Sequências de Branqueamento. **Ciência Florestal**. v.20, n.1, p.123-135, 2010.

PEREIRA et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, 113p. 2000.

PERZ, S.G.; SKOLE, D.L. Secondary Forest Expansion in the Brazilian Amazon and the Refinement of Forest Transition Theory. **Society & Natural Resources**, v.16, p.277-294, 2003.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da Polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake1. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

RESQUIN, F. et al. Wood quality for kraft pulping of *Eucalyptus globulus* origins planted in Uruguay. **Scientia Forestalis**. n.72, p. 57-66, 2006.

RIBEIRO, G. D. **Algumas espécies de plantas reunidas por famílias e suas propriedades**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 179p. 2010.

ROBERTSON, G. et al. Measurement of fiber length, coarseness, and shape with the fiber quality analyzer. **Tappi Journal**, v.82, n. 10, p.93-99. 1999.

ROBINSON, J. K. et al. Measurement of Kappa number variability on the fiber level. **Tappi Journal**. v.1, n.10, p.3-8, 2002.

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z. do. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n.1, p. 43-55, 2004.

RODRIGUES, R. R. et al. Tropical rain forest regeneration in na area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. **Forest Ecology and Management**.190, p.323-333, 2004.

RODRIGUES, M. A. C. de M. et al. Estrutura de florestas secundárias após dois diferentes sistemas agrícolas no nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**. v. 37, n.4, p. 591-598, 2007.

ROMANIUC NETO, S., GAGLIOTI, A.L.;GUIDO, B.M.O. Urticaceae Juss. do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**. v.36, n.1, 193-205, 2009.

ROSA, C. A. B. da. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose Kraft**. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – RS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 149p. 2003.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. **Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft.** In: III Congresso Iberoamericano em Celulosa y Papel 2004, Cordoba-Espanha, 2004.

SANSÍGOLO, C. A.; RAMOS, E. S. Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 47-60, 2011.

SABLE, I. et al. Comparison of the properties of wood and pulp fibers from Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) and Scots Pine (*Pinus sylvestris*). **Bioresource Technology**. v. 7, n. 2, p. 1771-1783, 2012.

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbrido de *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophyllae* do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba – SP. 178p. 2005.

SANTOS, S. R. ; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, v. 17, p. 53-63, 2007.

SILVA JUNIOR, F. G. **Conversão do processo kraft em soda – DDA (sal disódico de 1,4-dihidro-9-10-dihidroxi-antraceno) para madeira de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 172 p. 1994.

SILVA, F. J. et al. Efeito da redução da sulfidez, com adição de Aq, nas emissões poluentes e na qualidade da polpa Kraft de Eucalipto. In: 34º CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Anais**. 2001.

SILVA, M. E. C. M. da. Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais - **Composição química da madeira.** Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – UTAD. 18p. 2010. Disponível em <http://www.cifap.utad.pt/Composicao_quimica_madeira.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2013.

SPOSITO, T.C.S. **Tamanho, forma, alometria e crescimento em algumas espécies de *Cecropia* (*Cecropiaceae*) do Brasil.** Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, SP. 121p. 1999.

TAPPI - **TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY.** Test methods. Atlanta: TAPPI Press, 1999.

TAYLOR, L. **Technical Data Report for Embaúba: *Cecropia obtusifolia*.** 2. ed. Sage Press, 2003, 24p.

VÁLIO, I. F. M.; JOLY, C. A. Light sensitivity of the seeds on the distribution of *Cecropia glaziovii* *snethlagr* (Moraceae). **Z. Pflanzenphysiol.** v. 91, n.4, p. 371-376, 1979.

VITAL, B. R.; ANDRADE, A. M. de; VALENTE, O. F. Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, n.41/42, p.44-49, 1989.

APÉNDICE

Apêndice 1: Figuras de regressão das resistências físico-mecânicas da celulose para Graus Schopper Riegler estabelecidos.

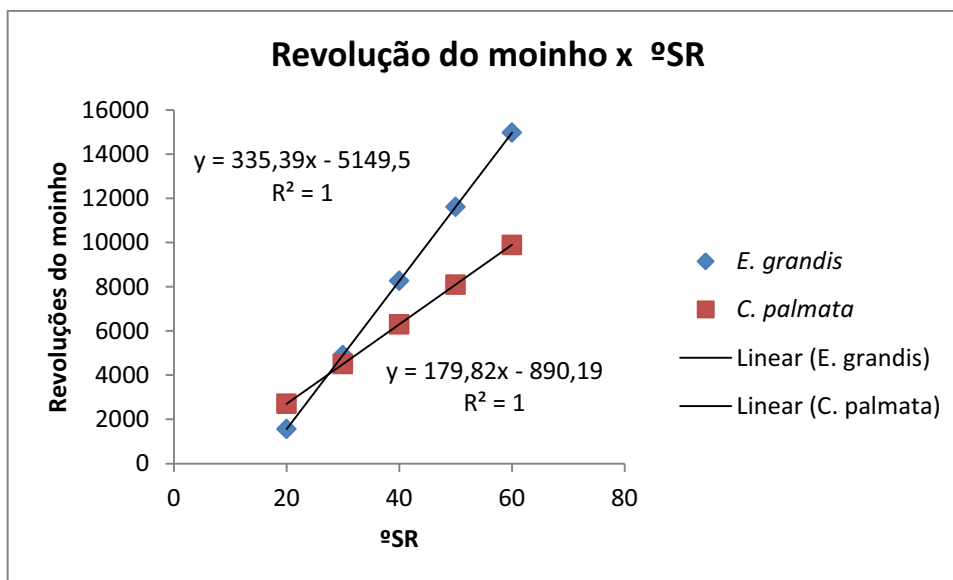


Figura 1. Regressão do número de revoluções x Grau Schopper Riegler.

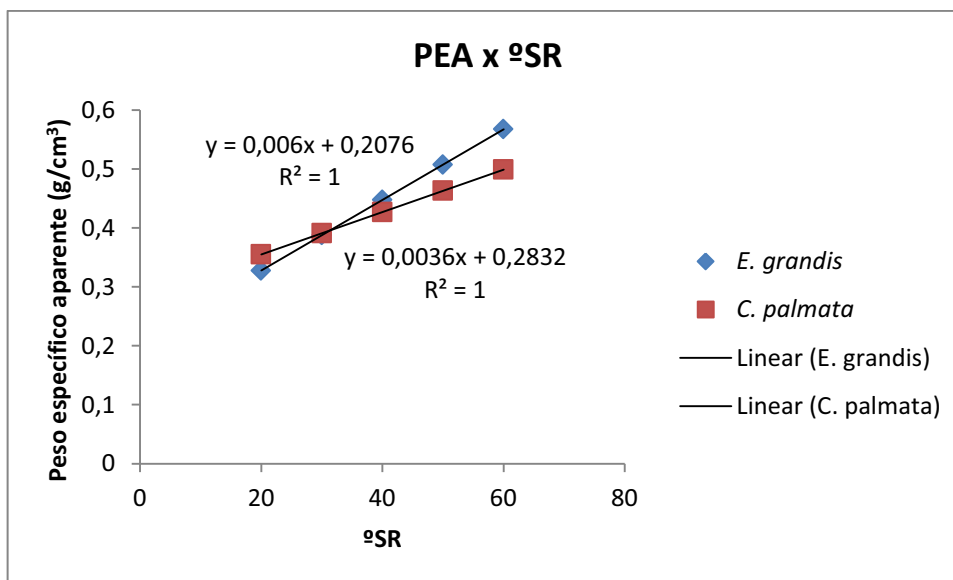


Figura 2. Regressão do peso específico aparente (PEA) x Grau Schopper Riegler.

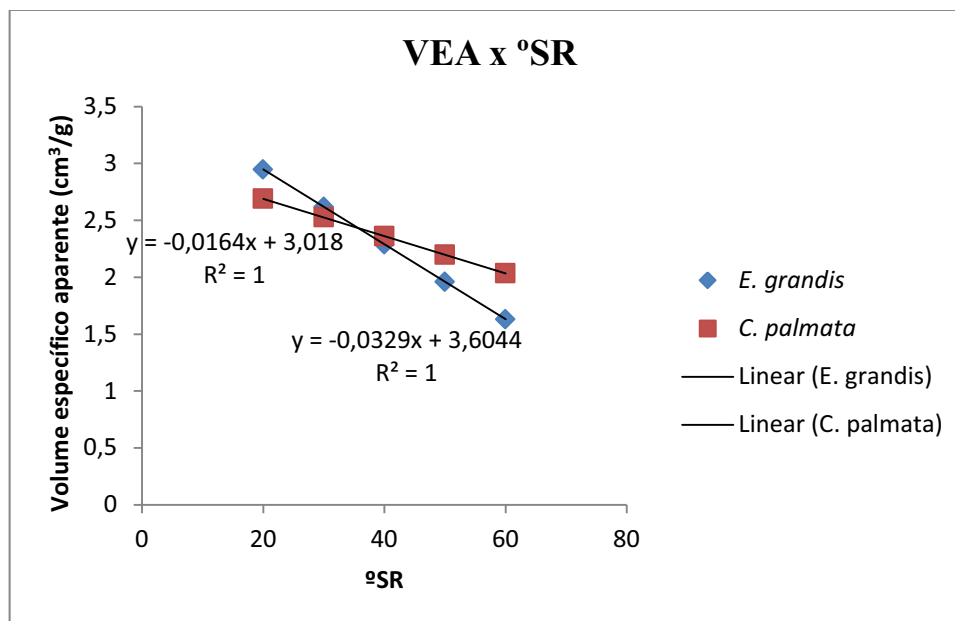


Figura 3. Regressão do volume específico aparente (VEA) x Grau Schopper Riegler.

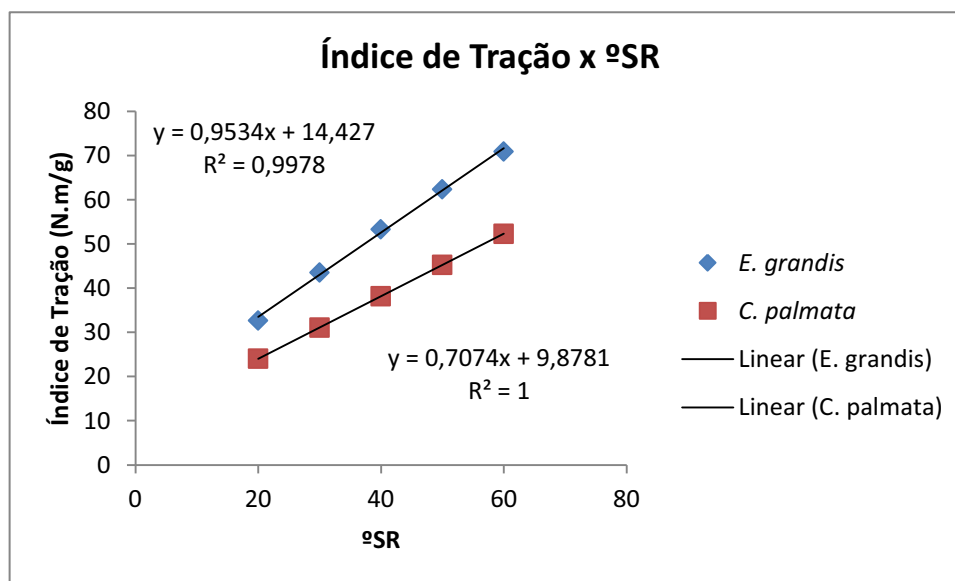


Figura 4. Regressão do índice de tração x Grau Schopper Riegler.

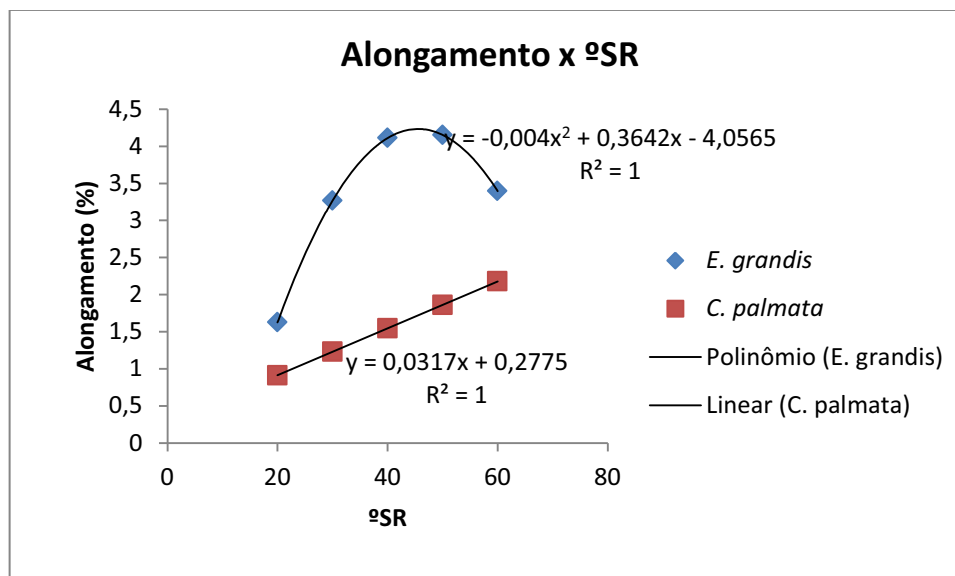


Figura 5. Regressão do alongamento x Grau Schopper Riegler.

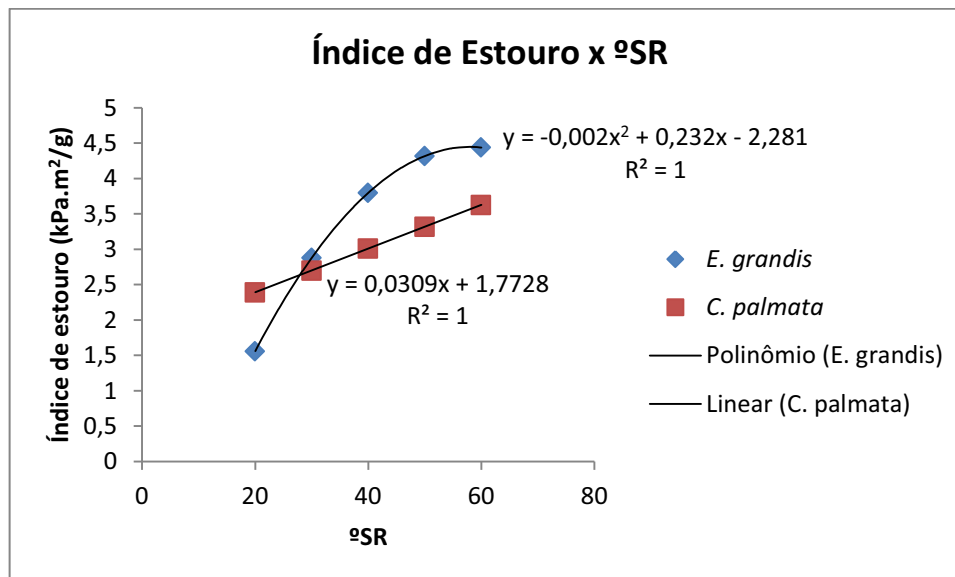


Figura 6. Regressão do índice de estouro x Grau Schopper Riegler.

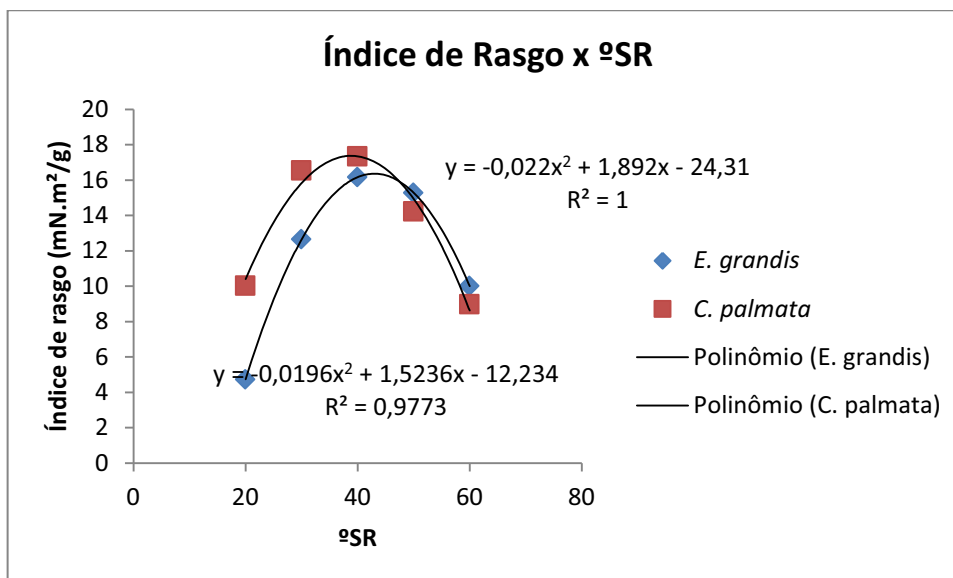


Figura 7. Regressão do índice de rasgo x Grau Schopper Riegler

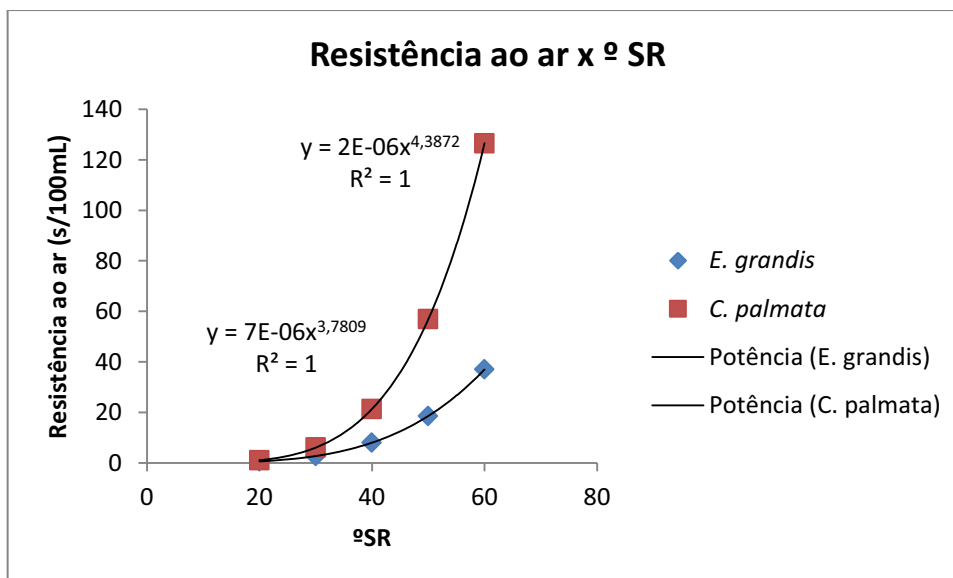


Figura 8. Regressão do índice de resistência ao ar x Grau Schopper Riegler.