

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE POLPA QUIMIOTERMOMECÂNICA DE *Eucalyptus grandis*

Roberta P. Francisco¹,
Antonio Aprígio da S. Curvelo^{2*}

¹Estudante de Doutorado, ²Professor Orientador,
*Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, Caixa Postal 780, 13566-590 - São Carlos – SP – Brasil. E-mail: aprigio@iqsc.usp.br

RESUMO

O crescente uso de madeira de eucalipto para a produção de papel faz com que diversos profissionais do setor desenvolvam pesquisas voltadas para a caracterização química da madeira e dos produtos da madeira, envolvendo o conteúdo de materiais lignocelulósicos, além da fração inorgânica, como íons metálicos. O principal objetivo deste trabalho é apresentar dados obtidos de caracterização química da polpa quimiotermomecânica (CTMP) marrom, produzida de madeira de *Eucalyptus grandis*, e cedida pela indústria Melhoramentos Papéis. As análises realizadas foram: determinação do teor de extrativos totais, lignina Klason total, polissacarídeos, cinzas e concentração de metais. Os resultados obtidos foram (3,16±0,52)% de substâncias extraíveis em etanol / ciclo-hexano, (30,01±0,13)% de lignina Klason total, (54,44±0,58)% de celulose, (14,07±0,16)% de polioses, (0,58±0,01)% de cinzas, (446,58±15,48) ppm de cálcio, (60,00±2,79) ppm de magnésio, (5,81±1,15) ppm de ferro, (1,75±0,44) ppm de cobre e (20,11±0,78) ppm de manganês. Com os dados obtidos, conclui-se que a amostra de polpa quimiotermomecânica (CTMP) apresentou composição química coerente com dados descritos na literatura. O objetivo do trabalho, de apresentar dados de caracterização química de polpa CTMP, foi alcançado com êxito.

Palavras-chave: caracterização química, polpa quimiotermomecânica, CTMP, *Eucalyptus grandis*.

INTRODUÇÃO

O uso de madeira de eucalipto como fonte de fibras para a produção de papel vem intensificando cada vez mais no mercado. Isso faz com que diversos profissionais do ramo desenvolvam pesquisas voltadas para a caracterização da madeira e dos produtos da madeira, no que diz respeito tanto à sua composição química, quanto à morfologia das fibras, resistência mecânica, propriedades térmicas, etc.

O eucalipto apresenta como características gerais do gênero, alburno estreito e coloração clara. Seu cerne pode apresentar coloração amarelada a bege, como *Eucalyptus globulus*, como também tons

avermelhados, como *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus Saligna*. Entretanto, a cor não permanece estável em uma madeira, uma vez que a mesma, tende a alterar-se com o tempo, escurecendo devido à oxidação causada principalmente pela luz, que reage com os componentes químicos tais como, a lignina. As cores da madeira são causadas pela quantidade e tipos de extrativos presentes na parede celular do cerne, que faz com que a madeira quando exposta a luz, ar ou calor ou mesmo ao longo do tempo, apresente alterações na sua cor. O eucalipto caracteriza-se por ser uma madeira macia a moderadamente dura ao corte, tendo massa específica aparente variando de 0,40 a 1,20 g cm⁻³. Apresenta anéis de crescimento distintos, fibras não septadas que ocupam cerca de 60% do volume de madeira, com o diâmetro e comprimento da fibra variando de 10-20 µm e 0,8-1,3 mm, respectivamente (1).

No Brasil, as florestas de eucalipto foram implantadas com o objetivo de atender, principalmente, as indústrias siderúrgicas, e as de celulose e papel. Mesmo tendo problemas de aceitação, num contexto ambiental, revela-se como promissor, apresentando qualidades que o torna aceitável, devido à diversidade genética, fácil adaptação a novas áreas, por possuir grande incremento em volume e rápido crescimento O Brasil possui uma vasta área reflorestada com o gênero *Eucalyptus*. A área plantada somente em Minas Gerais atinge, aproximadamente, 2,2 milhões de hectare. A eucaliptocultura brasileira é uma das mais desenvolvidas do mundo, no que se refere aos aspectos silviculturais. (1,2).

A seguir, será apresentada uma breve fundamentação teórica a respeito da constituição química da madeira.

A madeira é constituída por materiais lignocelulósicos, os quais são compostos, basicamente, por celulose, polioses e lignina, além de constituintes de baixo peso molecular, denominados extrativos (2,3). Existem também os constituintes minerais, os quais compreendem, principalmente, cálcio e potássio, que constituem até 50% dos cátions na cinza da madeira; também são encontrados magnésio, manganês, sódio, fósforo e cloro, assim como sílica no caso de florestas tropicais. Os ânions mais comuns são os carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos (4-5).

Os parágrafos seguintes apresentam a definição dos componentes químicos que constituem a madeira:

- A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e o composto orgânico mais abundante da natureza. Quimicamente é definida como um polímero linear de cadeia longa, formada por unidades de monossacarídeos β-D-Glicose, unidas por ligações glicosídicas, formando resíduos de celobiose, os quais são as unidades repetitivas da cadeia de celulose. A molécula de celulose pode sofrer reações de adição, substituição e oxidação

devido à presença de grupos hidroxilas ao longo de sua cadeia ^(6,7);

- as polioses são polissacarídeos de cadeias mais curtas que às da celulose, geralmente ramificados e constituídos por diferentes unidades de açúcares, os quais são denominados pentoses, hexoses, ácidos hexurônicos e desoxi-hexoses. As unidades monoméricas normalmente encontradas em polioses são: β -D-xilose, β -D-glicose, β -D-manose, α -D-galactose, α -L-arabinose, ácido β -D-glicurônico, β -D-galactourônico e ácido α -D-4-o-metilglicourônico ^(7,8);
- as ligninas são definidas como macromoléculas amorfas de elevada massa molecular. Caracterizam-se por apresentarem compostos aromáticos constituídos de unidades fenilpropanicas (*p*-hidroxifenil-propano, guaiacilpropano e siringilpropano). Encontram-se na maioria das plantas superiores, em concentração mais alta na lamela média do que nas subcamadas da parede secundária dos traqueóides, vasos e fibras. A macromolécula de lignina afeta o rendimento e a qualidade da celulose, o consumo de produtos químicos e a reversão de alvura, apresentando em sua constituição, ligações insaturadas em extensa conjugação, capazes de conferir cor à madeira - grupos denominados cromóforos ^(7,8);
- os extrativos são constituintes presentes em pequenas quantidades na madeira, extraíveis em água, álcool, benzeno e outros solventes orgânicos. Compreendem cerca de 3 a 10% da madeira (base seca) e englobam substâncias como terpenos, lignanas, estilbenos, flavonóides, gorduras, ceras, ácidos graxos, dentre outros ^(7,8).

Os processos de polpação podem ser definidos como a separação das fibras dos materiais lignocelulósicos mediante a utilização de energia química e/ou mecânica. Há vários tipos de processos de polpação, os quais são classificados de acordo com o rendimento obtido no processo.

Polpas com elevado rendimento (80-90%) são obtidas através dos processos mecânico, termomecânico, quimiomecânico, quimiotermodomecânico e semi-químico; polpas com baixo rendimento (30 a 50%) são obtidas, principalmente, através de processo químico ^(7,9). Neste trabalho, será atribuído maior ênfase ao processo quimiotermodomecânico (CTMP).

O processo quimiotermodomecânico caracteriza-se pela separação das fibras através da aplicação de fortes tensões de cisalhamento às toras de madeira, capazes de romper as ligações entre as fibras, com pouca adição de hidróxido de sódio, em temperaturas brandas, possibilitando a obtenção de produtos com alto rendimento (85%). Há remoção de pequenas quantidades de lignina e polioses; as fibras apresentam-se bem separadas e menos danificadas,

quando comparadas com fibras provenientes de processos que utilizam maiores quantidades de produtos químicos. A presença de lignina nas polpas obtidas é responsável pela coloração deste produto ^(9,10).

O principal objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos de análises químicas realizadas em polpa quimiotermodomecânica (CTMP) de madeira de *Eucalyptus grandis*.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A matéria-prima empregada neste trabalho foi polpa quimiotermodomecânica (CTMP) marrom cedida pela indústria Melhoramentos Papéis. A amostra foi coletada do processo industrial, imediatamente após a polpação, com alvura de 38,5°GE e portanto, sem passar por nenhum processo de lavagem. Em seguida, foi transferida para o laboratório em sacos plásticos e preparada adequadamente para posterior caracterização química, segundo o teor de extrativos totais, lignina total, polissacarídeos, cinzas e concentração de metais. Uma fração da amostra foi lavada em água para eliminar possíveis resíduos do processo.

A determinação de extrativos na polpa foi realizada em extrator soxhlet, conforme a Norma T204 om-97 ⁽¹¹⁾ com algumas adaptações.

Determinou-se a porcentagem de extrativos totais na fração da amostra lavada (CTMP-L) e na fração original (sem lavar, CTMP-o). As subamostras foram secas entre 60 e 70 °C, trituradas e peneiradas a 40 mesh. Então, pesou-se 3 subamostras com cerca de 10g de cada, transferindo-as para sistemas de extração soxhlet. Foram realizadas 3 extrações:

1^a) Extração com etanol 95% por 4 horas.

2^a) Extração com a mistura etanol:ciclo-hexano (1:1) durante 8 horas.

3^a) Extração em água destilada por 3 horas.

Após esta etapa, a amostra foi filtrada em cadinho de vidro sinterizado, lavada com água quente e finalmente com etanol 95%.

Depois das extrações a amostra foi seca ao ar e pesada. O conteúdo de extrativos totais foi determinado com base na diferença em massa (base seca) da amostra antes e depois do processo de extração.

A determinação do teor de lignina insolúvel, em meio ácido, foi realizada de acordo com o método Klason (Norma Tappi T222 om-98)⁽¹²⁾. Aproximadamente 1,0g de polpa foi submetido à hidrólise com H₂SO₄ 72% durante 2 horas em agitação e, uma pós-hidrólise com ácido sulfúrico 3% em refluxo por 4 horas. Em seguida, a lignina insolúvel foi filtrada em funil de vidro sinterizado n°4, cuja massa foi previamente determinada, coletando-se o filtrado para a análise de lignina solúvel e de polissacarídeos. O funil contendo o resíduo de lignina foi transferido para estufa a

105±5°C por 5 h. A porcentagem de lignina insolúvel foi calculada pela relação entre a massa de lignina Klason extraída e a massa de amostra inicial.

Devido à presença de anéis aromáticos nas moléculas de lignina, a técnica de espectrofotometria na região do ultravioleta é bastante adequada na determinação de lignina solúvel. Sendo assim, a concentração de lignina solúvel foi determinada empregando o filtrado da hidrólise ácida obtido no método Klason, o qual foi analisado através de espectroscopia na região do ultravioleta. Foram medidas absorvâncias a 215 e 280nm, tomando como branco a solução de ácido sulfúrico diluído nas mesmas proporções. A concentração de lignina solúvel foi calculada por meio da equação (1) abaixo ⁽¹³⁾:

$$L_S = \frac{(4,53 \times A_{215}) - A_{280}}{300} \quad (1)$$

Onde L_S é a concentração (g.L^{-1}) de lignina solúvel na amostra, A_{215} e A_{280} são os valores obtidos para as absorvâncias nos comprimentos de onda de 215 e 280nm, respectivamente.

Os produtos resultantes da degradação da celulose e polioses presentes na solução podem também absorver nesta região do espectro. A equação (1) considera a relação entre os valores de absorvância destes produtos e os de lignina, conforme as equações (2) e (3) ⁽¹³⁾:

$$A_{280} = 0,68 C_D + 18 C_L \quad (2)$$

$$A_{215} = 0,15 C_D + 70 C_L \quad (3)$$

Onde: C_D = concentração dos carboidratos em g L^{-1} e C_L = concentração de lignina solúvel em g L^{-1} .

A concentração de lignina solúvel, em g L^{-1} foi convertida para porcentagem em peso, considerando a massa inicial de amostra. Posteriormente, calculou-se a porcentagem de lignina total, somando-se as frações de lignina Klason insolúvel e solúvel.

O teor de polissacarídeos foi determinado por análise cromatográfica do filtrado obtido na determinação do teor de lignina Klason, por meio da detecção dos seguintes compostos hidrolisados: celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido fórmico, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfural. A solução contendo os hidrolisados foi submetida à filtração em membrana SEP PAK da Waters.

As análises foram realizadas sob as seguintes condições operacionais:

AÇÚCARES:

- Cromatógrafo - SHIMADZU, modelo CR 7A.
- Detector - Índice de Refração SHIMADZU R10-6A.
- Coluna - Aminex HPX 87 H (300 x 7,8mm BIO-RAD).
- Eluente - H_2SO_4 0,005 mol.L^{-1} .
- Fluxo - 0,6 mL.min^{-1} .

HIDROXIMETILFURFURAL E FURFURAL:

- Cromatógrafo - SHIMADZU, modelo CR 7A.
- Detector - UV (254nm) da SHIMADZU, modelo SPD-10A.
- Coluna - RP 18 (C_{18}) da HEWLETPACKARD.
- Eluente - solução de acetonitrila/água 1:8 (v:v), contendo ácido acético 1% (v:v)
- Fluxo - 0,8 mL.min^{-1} .

O teor de cinzas foi determinado segundo a norma T211 om-97 ⁽¹⁴⁾, através da calcinação de 5g de polpa (base seca) em mufla a (575 ± 25)°C por 6 horas. Após a queima, o cadinho contendo as cinzas foi resfriado em dessecador. O teor de cinzas na amostra foi calculado por diferença de massa e expresso em porcentagem.

Em seguida, prosseguiu-se com digestão ácida das cinzas a fim de determinar a concentração de metais (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu) em espectrofotômetro de Absorção Atômica, equipado com chama ar-acetileno, óxido-nitroso-acetileno e lâmpadas de cátodo oco, modelo Z-8100, marca Hitachi. A determinação da concentração de metais foi realizada com base na norma Tappi 266 om-94 ⁽¹⁵⁾, modificada.

As condições operacionais, bem como os valores das concentrações usadas no preparo das curvas padrão para a determinação de metais, encontram-se descritos nas Tabelas 1 e 2. Utilizou-se chama ar-acetileno para a determinação de todos os elementos.

Tabela 1- Condições operacionais usadas na determinação do conteúdo de metais na polpa CTMP.

Elementos	λ (nm)	Largura da fenda (nm)	Corrente da lâmpada (mA)
Cálcio	422.7	1.3	7.5
Magnésio	285.2	1.3	7.5
Ferro	248.3	0.2	10.0
Cobre	324.8	1.3	7.5
Manganês	279.6	0.4	7.5

Tabela 2- Concentrações empregadas no preparo das curvas padrão para cada íon metálico.

Elementos	Concentrações curva padrão (mg L^{-1})				
Cálcio	0.0	0.5	1.0	2.5	5.0
Magnésio	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0
Ferro	0.0	5.0	10.0	15.0	30.0
Cobre	0.0	0.5	1.0	2.5	5.0
Manganês	0.0	0.5	1.0	2.5	5.0

Para a determinação de cálcio e magnésio foram adicionados 100ppm de cloreto de lantânio às amostras a fim de minimizar possíveis interferências ⁽¹⁶⁾. A concentração de cada elemento, em miligramas por litro de solução, foi calculada a partir das curvas de calibração construídas conforme os valores descritos na Tabela 2. O resultado final foi expresso em micrograma por grama de amostra, segundo a equação (4):

$$C_{ppm} = \frac{(Ca_{mg/L} - Cb_{mg/L}) \times V_{mL} \times f_{dil}}{ma_g} \quad (4)$$

Onde:

C_{ppm} = concentração do metal, em partes por milhão ($\mu\text{g g}^{-1}$);

$Ca_{mg/L}$ = concentração da amostra calculada a partir da curva de calibração, em mg L^{-1} ;

$Cb_{mg/L}$ = concentração da prova em branco, em mg L^{-1} ;

V_{mL} = volume do balão (50mL) após a filtragem da amostra;

f_{dil} = fator de diluição;

ma_g = massa da amostra (g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Extrativos totais, Cinzas e Metais

Após a extração em ciclo-hexano, etanol e água, foi possível quantificar as porcentagens de extrativos totais nas polpas original (CTMP-o) e lavada (CTMP-L) sendo, respectivamente, iguais a (8,63±0,45) e (3,16±0,52) %, com nível de 95% de confiança. Observou-se que após a lavagem da polpa o teor de extrativos foi reduzido, devido à remoção de substâncias residuais solúveis em água, provenientes do processo de polpação industrial.

Dados apresentados na literatura revelaram valores de solubilidade em etanol / tolueno em torno de 4,0% e solubilidade em água quente de 5,0% em madeira de *Eucalyptus gumifera* ⁽¹⁷⁾. Guarienti e colaboradores ⁽¹⁸⁾ descreveram valores de extrativos totais nas madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulos* igual a (1,44±0,14)% e (1,33±0,14)%, respectivamente. Estudos descritos por Foelkel e Busnardo ⁽¹⁹⁾ indicaram solubilidade em etanol / benzeno de 3,26% e solubilidade em água quente igual a 5,64% para madeiras de *Eucalyptus saligna*. Considerando que o processo de polpação quimiotermomecânico conserva algumas características originais da madeira, como teor de extrativos, conteúdo de lignina e de metais, é possível comparar os dados obtidos na literatura para madeiras com os dados apresentados neste trabalho para polpa celulósica CTMP.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos das análises de extrativos totais e cinzas nas polpas original (CTMP-o) e lavada (CTMP-L) e as concentrações de

metais na polpa original, todas provenientes de madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tabela 3- Porcentagem de extrativos totais nas amostras original (CTMP-o) ¹ e lavada (CTMP-L) ²; porcentagem de cinzas em amostras original (CTMP-o) ¹ e lavada (CTMP-L) ²; concentração de metais na amostra original (CTMP-o) ¹ a um nível de 95% de confiança.

Análises	Resultados	Dados teóricos ⁽²⁰⁾
Extrativos (%) ¹	(8,63±0,45)	-
Extrativos (%) ²	(3,16±0,52)	-
Cinzas (%) ¹	1,88±0,17	-
Cinzas (%) ²	0,58±0,01	-
Ca (ppm) ¹	446,58±15,48	541
Mg (ppm) ¹	60,00±2,79	182
Fe (ppm) ¹	5,81±1,15	3,52
Cu (ppm) ¹	1,75±0,44	1,11
Mn (ppm) ¹	20,11±0,78	16,6

Os dados da Tabela 3 indicam elevado teor de cinzas da amostra de polpa original (CTMP-o), devido à presença de resíduos provenientes da polpação, o que foi confirmado pela elevada porcentagem de extrativos totais nesta mesma amostra. Após a lavagem, a amostra apresentou 0,58% de cinzas, conteúdo próximo ao descrito na literatura por Freddo e colaboradores (0,65%). As concentrações dos íons metálicos também se encontram com valores próximos aos apresentados na literatura ⁽²⁰⁾, conforme descreve a Tabela 3.

A quantidade de material inorgânico na madeira e em produtos de madeira, normalmente apresenta variações em função do local (condições climáticas, solo) e forma como a espécie se desenvolve. Os elementos químicos encontrados na composição da matéria-prima podem ser classificados como processuais e não-processuais. Citam-se como elementos processuais o sódio e o enxofre, sendo os não processuais representados por cálcio, magnésio, potássio, manganês, silício, ferro, cromo, chumbo, entre outros. Aproximadamente, 60% dos elementos não processuais são componentes da madeira e entram no processo industrial, 35% são adicionados ao processo com reagentes químicos processuais, além de contaminantes liberados dos equipamentos e 5% são adicionados com a água do processo. A presença de elementos minerais não-processuais pode causar vários problemas à produção industrial ⁽²⁰⁾.

Açúcares totais

Como foi descrito no item procedimento experimental, as análises de açúcares foram realizadas no filtrado obtido da hidrólise ácida dos polissacarídeos. Na verdade, o tratamento ácido proporciona hidrólise da celulose e das polioses, de maneira a obter uma

solução de açúcares que, uma vez quantificados pela análise cromatográfica, permite a determinação dos teores originais de celulose e polioses na polpa.

Neste procedimento, as concentrações de glicose e celobiose foram convertidas em celulose, empregando os fatores 0,90 e 0,95, respectivamente. As concentrações de xilose e arabinose convertidas para polioses empregando-se o fator 0,88 e a concentração de ácido acético convertida em grupos acetila, com fator 0,72. As massas obtidas foram divididas pela massa seca do material inicial e multiplicadas pelos fatores de conversão. Da mesma forma, foram também determinados os teores de furfural e hidroximetilfurfural, os quais foram convertidos para celulose e polioses, sendo os fatores de conversão de 1,29 e 1,37, respectivamente^(7,13).

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises de açúcares realizadas para amostra de polpa lavada (CTMP-L) e pré-extraída com etanol / ciclo-hexano e água quente.

Tabela 4- Concentrações dos açúcares que compõem a polpa CTMP-L.

Açúcares	Resultados (%)
Celobiose	6,19±0,37
Glicose	48,25±0,94
Xilose	12,12±0,42
Arabinose	0,03±0,00
Ácido fórmico	0,018±0,00
Ácido acético	1,92±0,58
Hidróxi-Metil Furfural	0,20±0,00
Furfural	0,80±0,01

Os resultados descritos na Tabela 4 indicam que, para a amostra de polpa CTMP de *E. grandis*, os polissacarídeos, tanto celulose, quanto polioses, praticamente não apresentaram degradação considerável, fato que é comprovado pelas baixas concentrações dos produtos de degradação, como ácido fórmico, hidróxi-metil furfural e furfural e também pelo balanço de massa, próximo a 100% (Tabela 5).

Composição Química

A partir dos resultados da análise cromatográfica e considerando o teor de cinzas e de lignina Klason total, foi possível calcular o balanço de massas, com a finalidade de se conhecer a composição química da polpa, podendo esta, ser observada nos dados da Tabela 5.

Tabela 5- Composição química e balanço de massa resultantes da análise de polpa CTMP-L.

Composição Química	Resultados (%)
Lignina Klason Insolúvel (%)	27,33±0,11
Lignina Solúvel (%)	2,68±0,02
Lignina total	30,01±0,13
Cinzas	0,58±0,01
Celulose	54,44±0,58
Polioses	14,07±0,16
Total	99,10±0,88

O conteúdo de lignina varia de acordo com a espécie vegetal; em madeiras de coníferas seu conteúdo é mais uniforme (~30%) que em madeiras de folhosas, podendo variar nestas espécies de 15% a 24%⁽⁷⁾. Estudos relataram valores de lignina Klason insolúvel igual a 22,88±0,92% em *Eucalyptus globulos*, 25,81±0,83%⁽¹⁸⁾ e 28,80%⁽¹⁹⁾ em madeira de *Eucalyptus saligna*.

Segundo literatura especializada, a celulose corresponde entre 40% a 50% da massa total em base seca das árvores. As polioses representam em torno de 20% a 30% (base seca) da madeira e são constituídas de misturas de polissacarídeos formados pela condensação de diferentes unidades de açúcares^(5,7). Estudos realizados em madeira de *Eucalyptus saligna* apresentaram teores de pentosanas igual a 17,33% e holocelulose igual a 71,91%^(19,21). Observando os dados apresentados na Tabela 5, é possível concluir que os teores de celulose e de polioses encontram-se próximos aos valores descritos na literatura, porém, um pouco fora da faixa estipulada, provavelmente devido às variações entre espécies, clima e solo de origem.

CONCLUSÕES

A amostra de polpa quimiotermomecânica (CTMP), obtida a partir de madeira de *Eucalyptus grandis*, apresentou composição química coerente com dados descritos na literatura. Entretanto, conclui-se que para a realização das análises químicas, a amostra deve passar por um processo de lavagem, a fim de retirar os resíduos provenientes da polpação, proporcionando resultados mais exatos e precisos. A água de lavagem deve ser deionizada para não interferir na análise dos íons metálicos. O principal objetivo do trabalho foi apresentar dados de caracterização química de polpa CTMP, o qual foi alcançado com êxito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à FAPESP e ao IQSC pelo apoio financeiro e suporte técnico; à empresa Melhoramentos Papéis pela concessão da amostra de polpa CTMP, em especial ao Paulo César Pavan e à Elaine Regina Kitazuru pela assistência prestada.

REFERÊNCIAS

1. Mori, C. L. S. O.; Lima J. T.; Mori, F. A.; Trugilho, P. F.; Gonzalez, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, 11, (2), 137-146, 2005.
2. TSOUJIS, G. **Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.
3. ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo, Edgard Blücher, 1974. 293p.
4. BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo, Nobel, 1991. 154p.
5. SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry. Nova York: **Academic Press**, 1981. 223p.
6. D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e Papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1988. v.1.
7. FENDEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. New York: de Gruyter, 1989, 613p.
8. CHAI, X.S.; ZHU, J.Y.; LI, J. A simple and rapid method to determine hexenuronic acid groups in chemical pulp. **Journal of Pulp and Paper Science**, v.27, n.5, p.165-169, 2001.
9. CURVELO, A. P. S. **Processos de deslignificação organossolve**. São Carlos, 1992. 94p. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.
10. Bolker, H. I. 1993. "Focusing scientific excellence on mechanical pulping: The mechanical and chemimechanical pulps network". **PULP PAPER CANADA** 94: (5) 38-43.
11. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Solvent extractives of wood and pulp: T204 cm-97. Atlanta, 1998/1999.
12. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Acid – insoluble lignin in wood and pulp: T222 om-98. Atlanta, 1998/1999.
13. BALOGH, Débora Terezia. **Efeito de variáveis do processo na deslignificação organossolve de *Eucalyptus grandis***. São Carlos, 1993. 143p. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.
14. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C: T 211 om-97. Atlanta, 1998/1999.
15. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Determination of sodium, calcium, copper, iron, and manganese in pulp and paper by atomic absorption spectroscopy: T 266 om-94. Atlanta, 1998/1999.
16. SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836p.
17. Oliveira, J. T. S.; Souza, L. C.; Della Lucia, R. M.; Júnior, W. P. S. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **R. Árvore**, 29, (5), 819-826, (2005).
18. Guarienti, A. ; Da Rosa, C. A. B.; Pedrazzi, C.; Cardoso, G. V.; Souza, M. C. H.; Foelkel, C. E. B.; Frizzo, S. M. B. Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *E. globulus* para determinação de lignina Klason e extrativos totais. **Proc. 33º Encontro Anual de Celulose e Papel**, ABTCP, São Paulo, Brasil, Out. 23-26, 2000. p. 1-10.
19. Foelkel, C. E. B. ; Busnardo, C. A. O fenômeno de apodrecimento central do cerne de árvores vivas de *Eucalyptus*: qualidade da madeira, **IPEF**, 33, 31-38, (1986).
20. Freddo, A.; Foelkel, C. E. B.; Frizzo, S. M. B.; Silva, M. C. M. Mineral elements in woods of eucalyptus and black wattle and its influence in a bleached kraft pulp mill. **Ciência Florestal**, 9, (1), 193-209, (1999).
21. Pan, G. X. Relationship between dissolution of fiber materials and development of pulp strength in alkaline peroxide bleaching of mechanical pulp. **Holzforchung**, 58, 369–374, (2004).