



## QUALIDADE DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Oriane Avancini Dias<sup>1</sup>; George Simonelli<sup>2</sup>

1. Graduanda em Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz (oriane.avancinidias@yahoo.com.br) – Aracruz, Brasil.
2. Docente dos Cursos de Engenharia Química, Engenharia de Produção e Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz (george@fsjb.edu.br) – Aracruz, Brasil.

Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013

### RESUMO

As indústrias que utilizam a madeira do eucalipto como matéria-prima para a produção de celulose, buscam aumentos na produção volumétrica por área plantada e a máxima eficiência na obtenção do produto. O *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado devido a sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas e regionais, resistência ao déficit hídrico, resistência a doenças, além do tempo de crescimento menor quando comparado com outros gêneros. Os investimentos na indústria e o desenvolvimento econômico do Brasil impactaram positivamente na produção de celulose e papel na última década. Além de auxiliar o processo produtivo, os estudos no ramo da qualidade da madeira, incluindo os fatores físicos, químicos e anatômicos, auxiliaram na minimização do uso de florestas nativas como fonte de matéria-prima. Contudo, o levantamento de informações a respeito das principais características da madeira de eucalipto para a produção de celulose e papel é uma tarefa importante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eucalipto. Indústria química. Eficiência.

### WOOD'S QUALITY FOR PRODUCTION OF PULP AND PAPER

#### ABSTRACT

The industries that use eucalyptus wood as raw material for pulp production, seek increases in volume production by acreage and maximum efficiency in obtaining the product. The genus *Eucalyptus* is the most widely used because of its adaptability to different climatic and regional conditions, resistance to drought, disease resistance, and the growth time less when compared with other genus. Investment in industry and economic development of Brazil had a positive impact on the production of pulp and paper in the last decade. Besides helping the production process, studies in the field of quality wood, including physical, chemical and anatomical factors, helped minimize the use of native forests as a source of raw material. However, collecting information about the main characteristics of eucalyptus wood for pulp and paper is an important task.

**KEYWORDS:** *Eucalyptus*. Chemical industry. Efficiency.

## INTRODUÇÃO

Entre os materiais de origem biológica, a madeira é o mais utilizado como matéria-prima em quase todos os campos da tecnologia. Sua condição de matéria-prima renovável a torna um bem valorizado pela sociedade e sua origem natural a faz retornar ao ciclo natural após ter cumprido sua função, sendo degradada a seus elementos básicos, o que explica o porquê de poucas evidências da utilização ancestral da madeira terem sobrevivido. Por outro lado, a madeira é uma matéria-prima moderna, prova disso é o fato de estar sendo utilizada para móveis e revestimentos de utilidade e beleza (ANDRADE et al., 2005).

As fibras utilizadas na fabricação de celulose e papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias-primas vegetais. Inicialmente, foram utilizadas fibras que requeriam menor processamento, como as fibras proveniente de linho e de algodão, contudo 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, pois proporciona as características desejadas, está disponível em grande quantidade, é uma matéria-prima renovável e de fácil exploração econômica (BETINI & GALATTI, 1995). O uso de madeira como fonte de fibras para a fabricação de papel foi sugerida pelo francês Réaumur em 1719 (OLIVETTI NETO, 2002).

Atualmente, buscam-se além de florestas altamente produtivas, materiais geneticamente superiores em rendimento e qualidade, mínimo impacto ambiental e harmonia com a sociedade (MOSCA, 2010). DEMUNER (2011) afirma que a competitividade do setor, que evoluiu a partir da década de 90 é devido ao avanço tecnológico florestal, desenvolvimento do processo e capacitação profissional. Diante disso a busca por informações a respeito das principais características da madeira de eucalipto que influenciam na produção de celulose, incluindo os principais aspectos a serem considerados no caminho da madeira de eucalipto até a produção de celulose e papel se torna importante, pois a tentativa de melhorar processos produtivos traz consigo a necessidade de um conhecimento mais aprofundado dos fatores ligados à atividade (BITTENCOURT, 2004). FERRAZ & TOMAZELLO FILHO (1978) consideram como regra, que para a correta utilização de um material é necessário ter conhecimento de suas características, estendendo esta afirmação para a utilização da madeira.

O melhoramento genético de espécies florestais é fundamental na obtenção de florestas homogêneas e produtivas. Segundo COLODETTE (2005), a produtividade das florestas no Brasil alcançou os mais elevados níveis mundiais de incremento médio anual e, além do aumento na produtividade, outras características também foram modificadas, influenciando em melhores resultados no processo produtivo. A literatura indica que a região sudeste do Brasil, principalmente o estado de São Paulo, apresenta a mais elevada taxa de crescimento da produtividade de eucalipto do mundo (OLIVETTI NETO, 2002). De acordo com ALMEIDA (2010), em 2010 o Brasil alcançou a 4ª posição na produção mundial de celulose, sendo o maior produtor de celulose de eucalipto.

Entre as diversas variáveis que afetam o processo de produção de celulose, destaca-se a qualidade da matéria-prima utilizada, pelo fato da madeira representar o maior custo na produção, na faixa de 50 a 60% do custo total, motivo pelo qual investimentos tecnológicos estão sendo direcionados para a minimização do consumo específico da madeira (DEMUNER, 2011).

A produção de polpa celulósica brasileira está baseada na utilização de madeira proveniente de florestas plantadas principalmente do gênero *Eucalyptus* (pertencente à família Myrtaceae), que representa 81,6% da produção total (SILVA, 2011). O *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado devido a sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas e regionais, resistência ao déficit hídrico, boa resistência a doenças, além do tempo de crescimento menor quando comparado com outras espécies, sendo este entre seis e sete anos (BASSA et al., 2007).



**FIGURA 1:** *Eucalyptus*  
Fonte: FIBRIA (2013).

O gênero *Eucalyptus* foi descoberto pelos ingleses na Austrália em 1778, e o primeiro país a introduzi-lo foi o Chile em 1823, seguido pela Argentina e pelo Uruguai. Quando o eucalipto foi introduzido no Brasil era utilizado apenas para arborização de ruas ou como quebra ventos, passando a ter mais utilidades conhecidas somente no início do século XX através de estudos desenvolvidos por Edmundo Navarro de Andrade, estudos que tiveram início em 1904, na Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Em 1967, a Aracruz Celulose S.A. iniciou o plantio de eucalipto no estado do Espírito Santo (BARBOSA, 2010).

Este gênero possui aproximadamente 700 espécies apropriadas para os mais diversos usos industriais e, em 2006 se tornou matéria-prima importante para a economia de mais de 100 países, englobando uma área de 19 milhões de hectares no mundo. Suas características além de terem elevado a aceitação da espécie no mercado industrial, auxiliou na minimização do uso de florestas nativas como fonte de matéria-prima. As espécies mais comuns nos plantios florestais brasileiros são os *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. cloeziana*, *E. dunnii* e *E. paniculata* (SOUZA, 2012). Dependendo da espécie a altura pode variar de 25 a 54 metros de altura (IPT, 1988. 1 v).

Os elevados patamares de produtividade foram alcançados principalmente pela utilização de técnicas de clonagem, baseada na realização de estudos silviculturais e análises tecnológicas para estabelecimento da qualidade da madeira e, por conseguinte, seleção de clones para multiplicação e formação de florestas homogêneas, com o intuito de se obter alta produtividade florestal (FANTUZZI NETO, 2012).

Estudos de todas as características dos clones em fase de seleção são extremamente dispendiosos além de representar custos de alguns milhares de dólares para serem completamente caracterizados, inviabilizando a realização completa destes estudos. Normalmente a solução destes problemas consiste na realização de apenas algumas das análises, consideradas capazes de fornecerem os subsídios necessários para uma seleção tecnicamente consciente que melhor atenda ao processo e proporcione o melhor retorno financeiro do complexo floresta-fábrica (FANTUZZI NETO, 2012).

O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão bibliográfica a respeito dos aspectos básicos da qualidade da madeira do eucalipto para a produção de celulose e papel.

## **PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**

A madeira utilizada na produção de celulose geralmente é descascada, pois a casca, além de possuir fibras utilizáveis em uma quantidade relativamente pequena, consome maior quantidade de reagentes, aumenta o teor de sujidades na polpa e torna mais difícil a lavagem e peneiração, porém, a casca pode ser utilizada para enriquecer o solo ou como combustível nas caldeiras para a geração de vapor. Então após o descascamento, na etapa de picagem, as toras são reduzidas a fragmentos, denominados cavacos, cujo tamanho facilite o manuseio e a penetração do licor de cozimento, além de minimizar o teor de rejeitos. Os cavacos podem seguir para as próximas etapas do processo ou serem estocados, contudo a perda de substâncias da madeira devido à ação de micro-organismos na pilha de cavacos ao ar livre é geralmente em torno de 1% ao mês (IPT, 1988. v 1).

Em seguida os cavacos são impregnados com o licor de cozimento, uma solução aquosa de substâncias orgânicas, e são aquecidos no digestor a fim de efetuar o cozimento, em uma etapa conhecida como desfibramento ou desdesignificação (STEIN, 2010).

IPT (1998); SANJUAN (1997); SMOOK (1990) citados por BITTENCOURT (2004) explicam que após o cozimento, uma válvula é aberta no fundo do digestor e a pressão empurra os cavacos cozidos para um tanque onde, sob a força de alívio na descarga, os cavacos desdobram-se em fibras individualizadas, ou seja, na polpa, que em seguida, passa pelo separador de nós, a fim de remover fragmentos grandes, e pelo filtro de lavagem, onde a polpa é lavada para a retirada do licor aderente, os reagentes químicos são recuperados com uma diluição mínima e os constituintes da madeira dissolvidos no licor também são recuperados para serem utilizados como combustível.

A polpa então é direcionada para a etapa de depuração, que consiste na retirada de impurezas sólidas, tais como palitos, cavacos não ou mal cozidos, areia e fragmentos de casca, pois durante a lavagem apenas as impurezas solúveis são removidas. Se a pasta é produzida para logo ser vendida, deve ser seca, enfardada e embalada, a fim de facilitar o transporte, porém se é produzida para ser utilizada

em uma fábrica de papel integrada, segue para um tanque de estocagem a uma consistência de 10 a 15%. Assim pode seguir para a produção de papéis não branqueados, se o processo não envolver a etapa de branqueamento (IPT, 1988. 1 v).

Pode-se definir o branqueamento como a etapa de remoção de derivados de lignina e descolorimento de substâncias coloridas, a partir da difusão de um reagente em solução até a superfície da fibra, seguida da difusão dos produtos de reação para fora da fibra, a fim de aumentar a alvura da pasta, com o mínimo de dissolução do material. O primeiro processo de branqueamento de expressiva quantidade de fibras surgiu na Europa em meados do século XVIII, processo que consistia em submeter as fibras à exposição à luz solar, em presença de substâncias alcalinas, como por exemplo, cinza de madeira. A preparação do cloro, em 1774, por Scheele, químico sueco, possibilitou o desenvolvimento do primeiro branqueamento a ser utilizado em escala industrial, através do pó de branqueamento, como ficou conhecido o produto obtido por meio da reação do cloro com cal (IPT, 1988. 1 v).

A origem do papel ocorreu por volta do ano 105, atribuindo-se sua autoria a Tsai-Lum, conselheiro de agricultura do imperador chinês Ho Jé. Este primeiro papel era obtido mediante a mistura de seda, cânhamo e fibra de cortiça, que era fervida durante vários dias para libertar as fibras. Em seguida diluía-se em água a pasta obtida e secava-se entre dois painéis submetidos a pressão até formar uma folha de papel. Antes desta descoberta usavam-se outros meios de escrita, como o papiro, constituído de fibras de plantas entrelaçadas e coladas, e o pergaminho, constituído de peles de animais polidas, tratadas e secas (ALVITE et al., 2002).

No processo atual, a polpa celulósica passa pela etapa de desintegração em um tanque desagregador que pode ser constituído de ferro fundido, aço, concreto ou azulejado, podendo ser de vários tamanhos e nas formas circular, quadrado ou retangular (IPT, 1988, 2 v). Em seguida há a refinação, onde por ação mecânica, ocorrem modificações nas características das fibras com o intuito de melhorar a distribuição destas, evitando a formação de aglomerados e aumentando a flexibilidade. IPT (1998); SANJUAN (1997); SMOOK (1990) citados por BITTENCOURT (2004) destacam entre essas modificações a solubilização parcial das hemiceluloses, alargamento e compressão das fibras, penetração de água na parede celular e formação de finos.

IPT (1998); SANJUAN (1997); SMOOK (1990) citados por BITTENCOURT (2004) explicam que após a preparação da massa, ocorre a formação da folha, que envolve duas fases: a formação propriamente dita e a secagem. Ainda segundo os autores a formação é feita através do desaguamento da suspensão de fibras sobre uma tela formadora, e a secagem consiste na evaporação da umidade residual.

Uma característica de papéis e papelões é a resistência à penetração de líquidos. Papéis para escrever, imprimir e embalagens, por exemplo, devem oferecer este tipo de resistência e, por isso, são submetidos ao processo de colagem, que pode ser superficial ou interna. Papéis sanitários, de seda, toalha, guardanapo, mata-borrão e lenço são exemplos de produtos fabricados para absorção rápida de líquidos e, portanto, recebem a denominação de papéis não-colados. A colagem superficial envolve a aplicação de substâncias formadoras de película, tais como amidos modificados, gomas, alginatos, álcool vinílico, metil celulose e carboximetilcelulose. Os principais produtos utilizados na colagem interna são cola a base de breu ou sintética, silicone e polietileno. A colagem interna tem a característica de desenvolver a resistência à penetração de líquidos em toda a

estrutura fibrosa do papel ou papelão, enquanto a colagem superficial se restringe às camadas mais externas (IPT, 1988. 2 v).

As últimas etapas são o enrolamento e o corte, pois o processo de fabricação da folha é contínuo, mas torna-se necessário converter a folha contínua em unidades finitas e independentes (IPT, 1988. 2 v).

## **FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**

A produção de celulose e papel com qualidade apresenta forte dependência dos aspectos físicos, químicos e anatômicos da matéria-prima. Estes aspectos são interdependentes, pois dificilmente se consegue alterar uma propriedade sem afetar as demais.

O conhecimento aprofundado da madeira de eucalipto torna-se indispensável para sua utilização racional e efetiva, de forma que uma série de parâmetros deve ser analisada com o intuito de relacioná-los à qualidade da celulose e do papel, sendo os principais deles discutidos a seguir.

### **Fatores físicos**

A variação das características físicas da madeira tem um efeito marcante sobre a qualidade do produto final, portanto o conhecimento a este respeito permite compreender as melhores opções de processamento.

BARRICHELO & BRITO, (1979) citados por DEMUNER, (2011) afirmam que as propriedades físicas da madeira são de extrema importância na produção de celulose e que entre as principais características, a densidade básica se destaca significativamente como sendo a mais importante, devido suas correlações com outras características da madeira, que influenciam diretamente no rendimento do processo produtivo.

### **Densidade básica**

A densidade básica é a indicação do teor de matéria seca que determinado volume de madeira possui, sendo a madeira de lenho tardio, mais densa que a de lenho inicial e quanto mais densa a madeira, menor o volume necessário de madeira para produzir uma tonelada de polpa celulósica (BETINI & GALATTI, 1995).

A densidade básica é utilizada como índice universal para expressar a qualidade da madeira, pois além de ser uma propriedade fácil de ser determinada, influencia na qualidade do produto e expressa relações com as propriedades do mesmo (DEMUNER, 2011).

MILAGRES (2009), afirma que a variação da densidade básica ocorre entre espécies e também dentro da própria árvore. BENJAMIN (2002) citado por SOUZA (2012) estudando o comportamento das propriedades da madeira, encontrou variações da densidade básica associadas às diferentes alturas na árvore e associadas aos anéis de crescimento.

Suas variações dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da densidade básica da madeira está geralmente relacionado com o aumento da espessura da parede

celular. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução da densidade na madeira (SOUZA, 2012).

Dá-se preferência às espécies de eucalipto de média densidade, ou seja, aquelas que apresentam valores entre 0,40 e 0,55 g/cm<sup>3</sup>, pois madeiras com densidade inferior a 0,40 levam a redução de rendimento, maior consumo de reagentes e elevado teor de rejeitos, enquanto que densidades superiores a 0,55 apresentam maior dificuldade de picagem das toras, o que acarreta além do maior desgaste das facas picadoras, maior proporção de cavacos de grandes dimensões, dificultando a impregnação do licor nestes e levando a uma menor produção de polpa depurada. Autores ainda relatam que altos valores de densidade tornam a estrutura do papel mais porosa e a resistência à tração é reduzida (SILVA, 2001 citado por DEMUNER, 2011).

Um fato relevante é que as madeiras de alta densidade podem resultar em rendimento semelhante ao da madeira de baixa densidade quando são utilizadas temperaturas mais baixas e tempos de cozimento mais longos, o que deve ser analisado de forma a não comprometer a produção (FANTUZZI NETO, 2012)

DIAS & SILVA (1985) citados por SANTOS (2005) verificaram que árvores com madeiras mais densas apresentam aumento do teor de lignina e da espessura da parede celular, além de decréscimo do diâmetro da fibra e do teor de hemiceluloses, quando comparadas com madeiras de menores densidades, enquanto que o comprimento médio de fibras e o teor de extrativos não apresentaram correlação com a densidade básica. Verificaram também que as propriedades do papel branqueado mostraram-se correlacionadas às variações da densidade básica. O peso específico aparente do papel, a flexibilidade das fibras e a resistência à tração sofreram decréscimo com o aumento da densidade, enquanto a resistência ao rasgo apresentou decréscimo com o aumento da densidade a baixos e médios níveis de refino, não sendo encontrada correlação para altos níveis de refino, e a porosidade e a opacidade demonstraram aumentar com o aumento da densidade básica a médios e altos níveis de refino.

Trabalhos demonstraram que a utilização de fertilizantes diminuiu a densidade da madeira em média de 2 a 10%, quando comparada com a densidade média de árvores sem fertilizantes. Entretanto, muitos autores afirmam que os acréscimos em volume de madeira proporcionado pela fertilização, compensam o decréscimo da densidade, produzindo maior peso de matéria seca, quando comparado com o total de matéria seca produzido pelas parcelas não adubadas. Um exemplo disso pode ser observado em um trabalho, cuja adubação de *P. taeda* com 150 kg de nitrogênio e 67 kg de fósforo por hectare, promoveu um acréscimo em peso seco da ordem de 15,5%, apesar da densidade básica da madeira ter sido reduzida em 0,05 g/cm<sup>3</sup>. Experimentos verificaram para *P. taeda*, que o fertilizante não afeta todas as árvores com a mesma intensidade, pois árvores com alta densidade foram mais afetadas pela aplicação de fertilizantes do que as árvores de menor densidade (BALLONI & JACOB, 1978).

### **Teor de umidade**

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente na madeira. Seu cálculo é feito com base no peso úmido e no peso absolutamente seco, este último obtido após secagem em estufa a 105 °C. A madeira recém cortada contém

entre 40 e 60% de umidade, mas quando armazenada perde umidade para o ar até alcançar o equilíbrio que é entre 10 e 15% (BETINI & GALATTI, 1995). A madeira seca proporciona redução do ataque por fungos e insetos, contudo a diminuição da umidade resulta no endurecimento da madeira, o que aumenta a resistência ao desfibramento (SANTOS, 2005; SILVEIRA, 2013).

O teor de umidade e a densidade da madeira são inversamente proporcionais, pois quanto maior o volume de água, menor a quantidade dos demais elementos químicos presentes na madeira, tais como a celulose, a hemicelulose e a lignina (SILVEIRA, 2013). A determinação do teor de umidade da madeira deve ser precisa a fim de se obter produtos com qualidade e menores perdas de matéria-prima (BATISTA et al., 2006).

### **Fatores químicos**

O produto final de uma fábrica de celulose sofre influência da composição química da madeira, havendo a necessidade de sua caracterização. De maneira ainda mais específica, em relação ao processo de polpação, a composição química da madeira afeta, por exemplo, o consumo de químicos no digestor, o rendimento depurado e o teor de sólidos gerados, de forma que compreender a natureza química da madeira é essencial para o aprofundamento de estudos relacionados ao processo de produção com o intuito de aperfeiçoar qualitativamente e quantitativamente o produto final (DEMUNER, 2011).

A constituição química da madeira é classificada pelos componentes fundamentais que são os constituintes macromoleculares como celulose, hemiceluloses e a lignina, que representam cerca de 95% da estrutura total da madeira. Os outros 5% são classificados como compostos que não formam parte essencial da estrutura da madeira, denominados extrativos (SOUZA, 2012). Estes componentes estão normalmente relacionados com o consumo de produtos químicos utilizados no decorrer do processo (STEIN, 2010).

### **Celulose**

A celulose é um homopolímero de moléculas de glicose. Os grupos hidroxilas da glicose fazem interações entre as moléculas de hidrogênio com as de oxigênio da mesma cadeia ou cadeia vizinha, formando microfibrilas com alta força de tensão, conferindo elevada rigidez às paredes celulares das plantas (SILVA et al., 1997 citados por SILVEIRA, 2010).

É um dos compostos químicos mais abundantes do planeta e encontrado em todas as plantas na forma de microfibrilas, sendo que as fibras com a mais pura celulose são as de algodão, de pureza aproximadamente igual a 99,8%, o que justifica seu elevado valor de alvura (DEMUNER, 2011).

As fibras de celulose sofrem intumescimento, que pode ser intercrystalino ou intracrystalino, quando colocadas em contato com certos agentes químicos. O caso mais comum de intumescimento intercrystalino é a inchação da celulose em água. Se uma fibra de celulose seca é exposta a uma atmosfera com umidade relativa de 100%, seu diâmetro aumenta entre 20 e 25%, devido à absorção de água. E se em seguida esta fibra for imersa em água, seu diâmetro pode aumentar em mais 25%. O intumescimento intercrystalino da celulose pode ser causado também por substâncias orgânicas como metanol, etanol, anilina, benzaldeído e nitrobenzeno;



normalmente quanto maior a polaridade do agente empregado, maior a extensão do intumescimento (IPT, 1988. 1 v).

O intumescimento intracristalino pode ser efetuado pelo uso de soluções concentradas de ácidos e bases fortes e de soluções de alguns sais. É possível distinguir entre intumescimento intracristalino limitado e ilimitado. Quando o agente intumescedor for um complexante forte e possuir grupos volumosos, as cadeias da celulose são separadas de tal maneira que ocorre a dissolução da mesma, sendo considerado um caso ilimitado. Contudo, quando o agente combinar com a celulose em determinadas proporções estequiométricas, apenas provoca uma expansão de seu retículo cristalino, sendo, portanto, um caso limitado (IPT, 1988. 1 v).

### **Teor de hemicelulose**

O termo hemicelulose se refere a polissacarídeos não constituídos de glicose e foi proposto por Schulze em 1981 (WHISTLER & SMART, 1953 citados por SILVEIRA, 2010). A família das hemiceluloses compreende um grupo heterogêneo de polissacarídeos, em sua maioria ramificados, ligados firmemente entre si, às fibras de celulose e à lignina estão ligadas por meio de interações de hidrogênio, consistindo em ligações relativamente fracas, o que possibilita o isolamento, ou seja, a deslignificação, por ação da água ou de soluções alcalinas, como o NaOH ou o KOH. Os principais monossacarídeos encontrados nas hemiceluloses são as pentoses (D-xilose e D-arabinose) e as hexoses (D-manose, D-glicose e D-galaactose), podendo também ser encontrados derivados ácidos destes monossacarídeos, como, por exemplo, ácido glucurônico, manurônico e galacturônico (SARKAR et al., 2009 citados por SILVEIRA, 2010). Assim, as hemiceluloses são classificadas conforme o monossacarídeo predominante, podendo-se encontrar, por exemplo, as xilanas e as galactanas, cujo monossacarídeo predominante é a xilose e a galactose, respectivamente. Quando há mais de um açúcar predominando na composição, nomes mistos são utilizados, sendo formados pelos nomes em ordem de quantidade, ou seja, o nome do que estiver em menor quantidade aparece primeiro como, por exemplo, arabinoxilanas, quando predominam arabinose e xilose, e glucogalactomananas, quando predominam ácido glucurônico, galactose e manose (SILVEIRA, 2010).

As principais hemiceluloses encontradas em vegetais são as xilanas, podendo constituir 90% da fração hemicelulósica de madeiras duras, já em madeiras macias podem corresponder a 50% da fração. Existem evidências de que xilanas e resíduos fenólicos de lignina estejam unidos por ligações covalentes, e que ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals unem este polissacarídeo à cadeia de celulose (ERIKSON et al., 1980 citados por SILVEIRA 2010).

As hemiceluloses são muito hidrofílicas, devido a suas estruturas ramificadas e amorfas, o que facilita o inchamento através da absorção de água, promovendo a lubrificação interna e aumentando tanto a flexibilidade das fibras quanto a área de contato entre as mesmas. Uma consequência desta característica é a formação de ligações mais fortes entre as fibras, resultando em fibras mais conformáveis com estruturas mais coesas, além de demandar menor energia e tempo de refino (SANTOS, 2005; MANFREDI, 2010).

Entretanto, a maior retenção de água diminui a drenabilidade do papel, comprometendo o andamento das máquinas de papel que, normalmente, já estão operando em suas máximas capacidades de drenagem (FERREIRA et al. 1998; SANTOS, 2005).

## **Teor de lignina**

As ligninas são compostos polifenólicos insolúveis formados por meio da polimerização de dois precursores: guaiacil e sinrigil. Dispõem-se através da rede de ligações cruzadas entre os polímeros de hemiceluloses e celuloses das paredes celulares, o que confere elevada resistência ao envoltório celular. Tem uma coloração amarelada à levemente marrom e representa de 30 a 35% da madeira (FERREIRA FILHO, 1994 citado por SILVEIRA, 2010).

O teor de lignina também é denominado como número de permanganato, devido a sua comum determinação através da oxidação da lignina residual com permanganato de sódio, em solução acidificada (ANDRADE, 2005).

A lignina é o composto mais indesejável da madeira para a produção de pasta celulósica, pois exige maior quantidade de álcali para a deslignificação, implicando em maior degradação dos carboidratos e dissolução dos polissacarídeos de baixo peso molecular, o que provoca a redução no rendimento, na viscosidade da polpa e na resistência física, além de gerar maior quantidade de sólidos para ser queimada na caldeira (ALENCAR, 2002 citado por MARANESI, 2010).

A taxa de amolecimento da lignina depende da temperatura e do teor de umidade da madeira. Quando submetida ao calor começa a amolecer ao redor dos 160 °C, contudo, na presença de maior umidade o amolecimento inicia-se por volta dos 125 °C (BETINI & GALATTI, 1995).

## **Teor de extrativos**

Os extrativos presentes na madeira causam a redução da alvura de polpas branqueadas, por isso são, normalmente, removidos durante o processamento químico através da utilização de solventes, com todo o cuidado para não afetar a estrutura física da madeira (DEMUNER, 2011).

Na indústria de celulose, os compostos orgânicos provenientes da resina da madeira, associados a materiais inorgânicos e fibras são denominados pitch e são indesejáveis por que formam agregados que se depositam nas fibras e se aderem em filtros lavadores, tanques de armazenamento e linhas de transporte, causando corrosão e incrustação, além de provocarem a redução da alvura de polpas branqueadas, dificultando o branqueamento da massa celulósica e diminuindo a qualidade do produto final (MOSCA, 2010).

A presença de extrativos causa ainda inibição da reação de deslignificação porque aumenta a impermeabilidade da madeira, dificultando a penetração do licor de cozimento. Outro ponto negativo existe pelo fato dos extrativos reagirem com agentes químicos do licor, o que faz com que o seu consumo aumente (IPT, 1988. 1 v).

## **Fatores anatômicos**

A madeira é um conjunto de diferentes tipos de células com propriedades específicas a fim de desempenharem suas funções de transporte de substâncias e armazenamento.

A fim de prever utilizações adequadas de acordo com suas características anatômicas, compreendendo o comportamento no que diz respeito à utilização,

torna-se necessário um estudo aprofundado destas características (SILVA, 2005 citado por BARBOSA, 2010).

### **Propriedades das fibras**

A determinação das dimensões das fibras é importante na avaliação da qualidade da madeira, visto que podem fornecer uma idéia das futuras propriedades do produto (SILVA, 2011).

Existem relações de dependência entre a madeira e o papel interligados com as propriedades das fibras. O comprimento da fibra afeta algumas propriedades, tais como, a resistência ao rasgo e resistência a dobras. Papéis fabricados a partir de fibras de eucalipto podem ser inferiores nestas propriedades, porém o comprimento da fibra de madeira de eucalipto é satisfatório para muitos papéis e a resistência ao rasgo pode ser aumentada, quando necessário, por meio da incorporação de fibras de coníferas, que são longas (SANTOS, 2005).

FERREIRA & SOUZA, [s.d.] citados por SANTOS, 2005 afirmam que fibras mais curtas favorecem a produção de papel com uma distribuição do tamanho dos poros mais homogêneos, beneficiando a absorção de tinta e, conseqüentemente, a impressão.

BARRICHELO & BRITO, (1976) citados por RESQUIN, (2002) explicam que a influência do comprimento das fibras na resistência ocorre pelo fato de que nas fibras longas há menor possibilidade de separação da estrutura do papel quando este é submetido a um esforço.

Os trabalhos que estudaram o efeito da fertilização no comprimento de fibras, apresentam resultados contraditórios, pois alguns autores verificaram redução no comprimento de fibras, ocasionado pela aplicação de nitrogênio e fósforo em coníferas, enquanto em alguns casos a redução foi insignificante. A aplicação de potássio em *Pinus* promoveu diminuição no comprimento de fibras e, ainda, um decréscimo na espessura das paredes das fibras. Por outro lado, trabalhos conduzidos com *Pinus pinaster*, utilizando fertilização fosfatada e em *Pinus taeda* utilizando nitrogênio e potássio, verificaram aumento no comprimento de fibras. Para folhosas, no caso *Platanus occidentalis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, não foi encontrada influência da fertilização no comprimento das fibras, enquanto que para *Eucalyptus saligna*, verificou-se redução no comprimento das fibras influenciada pela aplicação de calcário (BALLONI & JACOB, 1978).

Ao que diz respeito à largura das fibras, quanto mais largas, menor será a resistência ao ar e maiores serão o volume específico aparente e a resistência ao rasgo do papel. As resistências à tração e ao arrebatamento são prejudicadas quando as fibras são mais largas, devido ao ajuste imperfeito das mesmas no papel (SANTOS, 2005). Segundo SILVA JÚNIOR, (1996) citado por SILVA, (2011), madeiras com elevada densidade apresentam maior consumo de álcali, pelo fato de apresentarem fibras mais espessas.

CARVALHO et al., (1998) citados por SANTOS, (2005) relatam que fibras com maiores espessuras de parede sofrem maior desfibramento durante o processo de refinação, aumentando a área de ligação entre as fibras e, conseqüentemente, a resistência à tração. Ainda afirmam que por sofrerem maior efeito de hidratação, aumentam o volume e geram maior área para ligações, proporcionando maior resistência.

A relação entre o comprimento e a largura da fibra é denominada índice de enfiamento. Embora alguns autores tenham verificado que esta relação não tem efeito nas propriedades do papel, outros afirmam que a resistência ao rasgo está relacionada com este índice, de forma que há um aumento na propriedade com o aumento do índice (SANTOS, 2005).

A relação entre a espessura da parede celular e a metade da largura da fibra é denominada fração parede. Quando a fração parede é maior que 40% as fibras serão extremamente rígidas, pouco flexíveis e haverá dificuldades na interligação das mesmas. Fibras com fração parede elevada geram papéis com volume específico aparentemente alto, pois ao serem comprimidas durante a formação do papel, o grau de colapso é baixo (SANTOS, 2005).

A relação entre o diâmetro do lume (parte interna delimitada pela parede celular) e a largura da fibra é denominada coeficiente de flexibilidade, e possibilita avaliar a capacidade de flexão da fibra e o potencial de ligação entre fibras, podendo correlacionar-se com a resistência à tração e ao arrebatamento. A relação existe porque fibras mais flexíveis proporcionam maior contato entre si, aumentando a resistência. (SANTOS, 2005).

Tem-se também a razão entre o dobro da espessura da parede celular e o diâmetro do lume, denominado Índice de Runkel. Runkel observou que as fibras da madeira que apresentam o índice por ele desenvolvido menor que 1, produziam polpas com boa capacidade de interligação. Este índice apresenta relação inversa com a resistência à tração e ao arrebatamento (SANTOS, 2005).

Outra propriedade das fibras, denominada *coarseness*, é definida como o peso por unidade de comprimento da fibra, normalmente expressa em miligramas por 100 metros, ou decigramas por 10 quilômetros. O alto valor desta propriedade implica em alto rasgo, alto volume específico aparente, alta porosidade, baixa opacidade, fraca folha úmida, alta rapidez em absorver água, drenagem rápida, superfície rugosa e ligações entre as fibras prejudicadas. A maior *coarseness* também está associada com a rigidez absoluta das fibras, o que requer mais refino para colapsar e gerar polpas com razoáveis níveis de resistência à tração (SANTOS, 2005).

## **Idade**

A árvore, como qualquer ser vivo, passa pelo período de juventude até atingir a idade adulta, fato que influencia significativamente no volume e na qualidade. Para a avaliação ideal da qualidade da madeira, se faz necessário que a mesma se encontre em idade de corte apropriada de acordo com a estratégia de produção (DEMUNER, 2011).

O plantio de florestas requer um planejamento para se determinar o período de produção para o corte para evitar que as árvores sejam cortadas sem terem atingido a plenitude de seu potencial (HOSOKAWA, 1998 citado por BITTENCOURT, 2004). No Brasil os ciclos de corte variam entre cinco e sete anos (SILVA, 2011).

A idade afeta algumas propriedades de interesse do processamento, de maneira que quanto maior a idade da árvore, maior será a densidade e o rendimento depurado, enquanto que o consumo específico, ou seja, a capacidade de conversão da madeira em polpa celulósica, será menor, de maneira que a faixa de maior produção varia entre seis e dez anos (STEIN, 2010).

Estudos evidenciaram que há aumento da densidade básica da madeira de eucalipto com a idade da árvore e, ainda que há uma tendência de estabilização após certa idade da planta (RIBEIRO & ZANI FILHO, 1993).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na pesquisa realizada percebe-se a importância do conhecimento das características da madeira na produção de papel e celulose, quando se visa à obtenção de produtos com as características desejáveis.

Durante o estudo, notou-se que ao mencionar qualidade da madeira, os trabalhos salientam a densidade básica, pelo fato de ser uma das principais características de avaliação. Porém, o termo produtividade é bastante abrangente, estando relacionado tanto com as características das matérias-primas, como com as ações de manejo e técnicas operacionais. Além dos melhores aspectos de qualidade da madeira, a mínima variação das características da matéria-prima se apresenta de grande importância com o intuito de garantir padrões homogêneos e evitar distúrbios no processo.

Com isso foi possível concluir que ao dizer que a celulose possui qualidade, diz-se que esta possui os requisitos necessários para determinados fins, e ainda quanto maior o número de possíveis usos a que uma celulose se prestar, melhor é a qualidade desta e maior o sucesso diante das concorrentes. Portanto, para a produção de celulose com qualidade é essencial dispor das informações discutidas a fim de controlar as etapas do processo de produção.

Um fato relevante é que além de auxiliar o processo produtivo os estudos no ramo da qualidade da madeira de celulose auxiliaram na minimização do uso de florestas nativas como fonte de matéria-prima, se destacando mais ainda em termos de sustentabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. P. de. **Influência do grau de deslignificação na produção de polpa Kraft branqueada de eucalipto**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALVITE, J. D. B.; INFANTE, F. S.; VÁZQUEZ, M. C. T. **Manual da madeira de eucalipto comum**. Madri: Fundación para o Fomento de Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia, 2002.

ANDRADE, A. S. de et al. **Química da madeira**. 3 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

BALLONI, E. A.; JACOB, W. S. **Efeitos da fertilização na qualidade da madeira**. In: Congresso Brasileiro sobre a qualidade da madeira. 1., 1978. São Paulo.

BARBOSA, T. L. **Influência do local de crescimento na qualidade da madeira para celulose e na susceptibilidade aos ventos**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G. de; SACON, V. M. 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. 2007.

BATISTA, W. R. et al. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Instituto Florestal**. São Paulo. 2006.

BETINI, M. A.; GALATTI, P. E. **Curso de pasta mecânica**. Monte Alegre: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1995.

BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. de; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**. Viçosa, 2005.

DEMUNER, W. P. **Predição do impacto da madeira em fábrica Kraft de eucalipto**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft**. 2012. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Viçosa.

FERRAZ, E. S. de B.; TOMAZELLO FILHO, M. **Uso de métodos nucleares no estudo da qualidade da madeira**. In: Congresso Brasileiro sobre a qualidade da madeira, 1., 1978. São Paulo.

FIBRIA. **Resumo do Plano de Manejo**: Unidade Florestal MS. 6. ed. 2013. Três Lagoas.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Celulose e papel**: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: Departamento de Divulgação do IPT, 1988. 1 v.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Celulose e papel**: Tecnologia de fabricação do papel. 2. ed. São Paulo: Departamento de Divulgação do IPT, 1988. 2 v.

MANFREDI, M. **Desenvolvimento de propriedades de papéis reciclados por tratamento ultrassônico e adição de xilanas**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARANESI, G. L. **Influência de variáveis do processo de produção industrial na qualidade da polpa Kraft de eucalipto**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOSCA, Y. **Avaliação da qualidade da madeira de três clones *Eucalyptus*, aos cinco anos de idade**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVETTI NETO, A. **Qualidade de cavacos de eucalipto para obtenção de celulose Kraft**. In: Congresso Iberoamericano de Investigação em celulose e papel, 2002. Campinas.

RESQUIN, F. **Avaliação de procedências de *Eucalyptus globulus ssp globulus* segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura, Piracicaba.

RIBEIRO, F. de A.; ZANI FILHO, J. **Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus spp***. Araraquara: Ripasa S/A Celulose e Papel, 1993.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis x Eucalyptusurophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVEIRA, R. F. de M. **Atividades biológicas de xilana de sabugo de milho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**. Brasília. 2013.

SOUZA, F. M. L de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptusurophylla* e do híbrido *E. urophylla x E. grandis* em dois modelos silviculturais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)– Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

STEIN, F. da R. **Modelagem de produção industrial de celulose Kraft com modelos aditivos generalizados e redes neurais**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.