



Eucalyptus Online Book & Newsletter



Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel



$^{\circ}$ Celsius Degree / Grau Celsius

Propriedades Papeleiras das Árvores, Madeiras e Fibras Celulósicas dos Eucaliptos

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br
www.abtcp.org.br

Março 2009

Empresas patrocinadoras:

BOTNIA

INTERNATIONAL PAPER

KSH



KSH-CRA ENGENHARIA LTDA.



SUZANO
PAPEL E CELULOSE

VCP
Votorantim

Propriedades Papeleiras das Árvores, Madeiras e Fibras Celulósicas dos Eucaliptos

Celso Foelkel

CONTEÚDO

- INTRODUÇÃO
- CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PAPÉIS PRODUZIDOS COM POLPAS KRAFT BRANQUEADAS DE EUCALIPTO
- QUALIDADES TECNOLÓGICAS DESEJADAS NAS FIBRAS CELULÓSICAS DOS EUCALIPTOS
- QUALIDADES TECNOLÓGICAS DESEJADAS NAS MADEIRAS DOS EUCALIPTOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT
- QUALIDADES DESEJADAS NAS ÁRVORES DAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTOS
- PRINCIPAIS FATORES TECNOLÓGICOS A CONSIDERAR NA OTIMIZAÇÃO DA REDE DE PRODUÇÃO DO PAPEL DE EUCALIPTO - "DA FLORESTA AO PAPEL"
- PROPOONDO ALTERNATIVAS SIMPLES PARA MELHOR DESEMPENHO DAS MADEIRAS E FIBRAS CELULÓSICAS NA REDE PRODUTIVA DO PAPEL
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Propriedades Papeleiras das Árvores, Madeiras e Fibras Celulósicas dos Eucaliptos

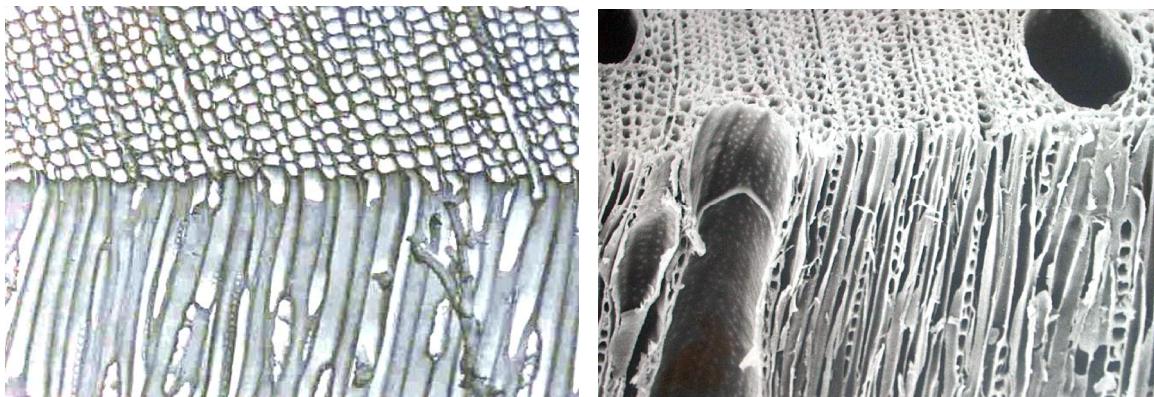
Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br

www.eucalyptus.com.br

www.abtcp.org.br

INTRODUÇÃO



Madeiras de coníferas e folhosas: principais matérias-primas para a fabricação de celulose e papel

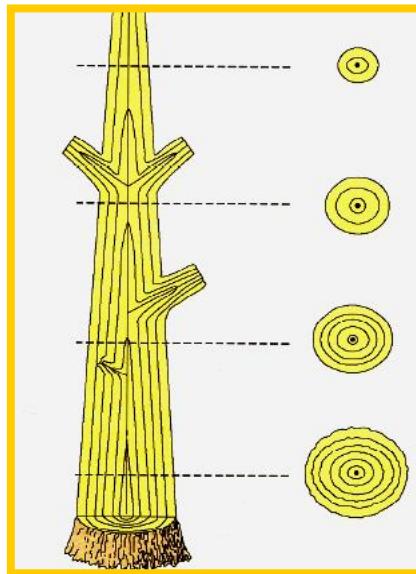
No mundo todo, a quase totalidade da celulose para fabricação de papel se baseia no uso de madeiras de diferentes tipos e espécies de árvores. São distintas e variadas espécies vegetais que oferecem suas fibras para agregar competitividade e vitalidade para essa indústria. No Hemisfério Norte, a grande parte da madeira usada pela indústria celulósica-papeleira é originada de florestas naturais de coníferas (folhas estreitas aciculiformes nas árvores e fibras longas na madeira). Como a biodiversidade nessas florestas é baixa, o número de espécies de árvores lenhosas é pequeno. Apesar disso, a oferta de madeira é algo desuniforme em suas dimensões e aspectos. Na verdade, em termos tecnológicos, esse “mix” desuniforme de madeira às fábricas mostra significativa variabilidade, apesar da simplicidade anatômica das madeiras de coníferas. Isso porque nessas florestas naturais existem diversas espécies de árvores crescendo juntas, inclusive árvores de espécies latifoliadas/folhosas (folhas largas nas árvores e fibras curtas na

madeira). Outro fator a agregar mais variabilidade é a presença de árvores de diferentes idades. Apesar do esforço de se colherem separadamente as árvores de coníferas e as das folhosas, sempre ocorre alguma “contaminação” de um tipo de madeira no outro. Em geral, após a colheita do tipo de madeira dominante, faz-se a colheita do outro tipo. Tanto um tipo, (coníferas), como o outro (folhosas), podem alimentar digestores de fábricas de celulose. Outras vezes, as toras mais grossas são encaminhadas para as serrarias, ficando as toras mais finas para as fábricas de celulose e papel. Sempre teremos algum tipo de contaminação na madeira colhida, é inevitável nessas condições de variadas espécies. Por essa razão, as polpas de fibras longas de muitos produtores do Hemisfério Norte possuem alguma percentagem de fibras curtas de folhosas e vice-versa. Isso é aceito e entendido pelos mercados.

Outra fonte adicional de muita importância na variabilidade dos suprimentos de madeira naquelas regiões é o fato das fábricas também consumirem madeira residual de outras indústrias madeireiras: serrarias, laminadoras, fabricantes de painéis e compensados, etc. As sobras de madeira como costaneiras, cilindros centrais da laminação, toquinhas de painéis, etc., acabam sendo convertidos em cavacos no local da geração e vendidos para as fábricas de celulose. Por todas essas razões, o setor de celulose e papel nos seus locais de berço/origem tem convivido com alta variabilidade em suas matérias-primas.

Além disso, e para complicar ainda mais as coisas, a própria madeira é um material natural desuniforme dentro da mesma árvore e entre as árvores da mesma floresta. É muito bem conhecido o fato de que o câmbio (ou meristema lateral) das árvores, e que forma o lenho ou xilema (madeira), tem a capacidade de aperfeiçoar a qualidade dos elementos anatômicos que cria, conforme a árvore vai ficando mais velha. Conforme passa a idade, em uma mesma posição da árvore em relação à sua altura, o câmbio forma elementos anatômicos mais longos e de paredes mais espessas. Essa é a regra geral para quase todas as árvores.

Outro fator importante, e muitas vezes esquecido pelos usuários da madeira, é que uma mesma árvore tem tecidos com diferentes idades. Surpresos? Conforme subimos em altura na árvore, temos seções de árvores com idades fisiológicas diferentes. A própria madeira formada pelo câmbio na última estação de crescimento não possui sequer um ano de idade. As árvores crescem em altura e em diâmetro ao longo de sua vida, concordam? A única seção dessas árvores que contem a madeira formada desde a época de muda até a idade presente é a base da árvore. Por essa razão, o ponteiro (topo das árvores) é a região mais jovem de qualquer árvore, enquanto a base é a mais velha.



Diferentes alturas das árvores possuem diferentes idades fisiológicas

Em relação a esse fato, tenho uma interessante passagem em minha carreira, quando prestávamos consultoria a empresas através da Unidade de Tecnologia da Riocell S/A. Um cliente nosso solicitou uma visita, pois estavam com um problema. Utilizavam madeira de *Pinus taeda* para fabricar celulose kraft não branqueada e papel de embalagem marrom. O manejo tradicional das florestas de *Pinus* na empresa era para corte raso e colheita da madeiras quando as árvores tinham pouco menos de 14 anos. Ocorria apenas um desbaste intermediário aos 8 anos e essa madeira juvenil era utilizada como biomassa energética. Quando a área florestal decidiu manejá-la por alto fuste, colhendo as árvores mais velhas para vender as toras mais grossas da base para as serrarias da região, a fábrica de celulose e a de papel notaram de imediato a diferença em qualidade e performance de seus produtos e de suas matérias-primas. A madeira que passaram a receber tinha densidade básica mais baixa; as fibras eram mais curtas e juvenis e ainda tinham paredes mais finas. A questão que nos colocaram foi a seguinte: “passamos a receber madeira de florestas com quase 20 anos e a qualidade piorou muito!!!” Foi fácil mostrar a eles que quem estava recebendo madeiras de regiões das árvores com quase 20 anos eram as serrarias. Eles passaram a receber as toras finas e os ponteiros juvenis, possivelmente com idades fisiológicas abaixo de 12 anos. A recomendação e a solução encontrada foi ir buscar nas serrarias os cavacos produzidos com as costaneiras (seções laterais da parte mais externa das toras). Essa região da seção transversal das toras é a mais recentemente formada pelo câmbio (mais maduro) da árvore e que em geral tem fibras mais longas e com paredes espessas e mais alta densidade básica.

Além da variabilidade dentro da mesma árvore, existe ainda a variabilidade entre as árvores de uma mesma floresta, mesmo que tenham

mesma idade de plantio e semelhança genética (sementes ou clones). Essa variabilidade se deve a fatores genéticos (florestas baseadas em mudas de sementes) e a fatores ambientais (solo, clima, pragas, doenças, declividade, déficit hídrico, insolação, etc.). Em florestas naturais, a variabilidade é ainda maior do que nas plantações, pois existem árvores que ainda que da mesma espécie, possuem idades e bases genéticas bastante diferentes. Em florestas plantadas de uma única espécie a variabilidade tende a ser menor, mas também existe e não é pequena.

Quando surgiu a silvicultura clonal, a crença de muitos melhoristas florestais era de que as árvores seriam exatamente cópias umas das outras em termos de suas qualidades madeireiras. Afinal, sonhavam eles, tratava-se de árvores todas com o mesmo genótipo; logo a expressão fenotípica na madeira deveria ser similar. Acreditavam tanto nisso, que a amostragem da madeira para avaliação da qualidade era feita com base na coleta de uma única árvore média do povoamento clonal. Grandíssima ingenuidade, logo esclarecida pelos testes que mostraram a grande variabilidade entre as árvores, mesmo sendo a floresta uma plantação clonal.

Levando-se em conta todas essas considerações iniciais, podemos com toda certeza afirmar que a produção de celulose se baseia em uma matéria-prima desuniforme. Essa desuniformidade em densidade básica, em porosidade, em permeabilidade, em composição química, em dimensões dos elementos anatômicos, etc. precisa ser bem conhecida, entendida, compensada e absorvida pelos produtores de celulose e papel e pelos seus processos industriais. Mesmo as celuloses produzidas e conhecidas como "polpas de espécies únicas" ("single species pulps") ou ainda como "polpas de árvores clonadas" ("cloned trees pulps") são produzidas com madeiras de propriedades que mostram significativa variabilidade.

Além da variabilidade natural da madeira, que discutiremos com mais detalhes em capítulos específicos de nosso **Eucalyptus Online Book**, existem inúmeras outras fontes que introduzem variabilidade na madeiras e nos processos de produção de celulose:

- Contaminação dos cavacos com casca das árvores;
- Contaminação da madeira com os nós das inserções dos ramos;
- Dimensões irregulares dos cavacos de madeira em suas diferentes frações;
- Madeiras defeituosas tais como: apodrecidas, de árvores doentes, de árvores que sofreram um incêndio florestal, etc.
- Etc.

Para uma pessoa mais desatenta e que olha uma pilha de cavacos de uma fábrica de celulose, a impressão é de que essa matéria-prima é um material uniforme e volumoso. Algo como estar observando "uma pilha de

areia". Acontece que os cavacos apresentam importante variação na qualidade de suas madeiras. Eles possuem madeiras diferentes, possuem dimensões distintas e mesmo que classificados e melhorados, são fonte adicional de variabilidade nos processos de impregnação e cozimento kraft da madeira.

Durante anos a indústria de celulose tem gerenciado mal esse problema da alta variabilidade da matéria-prima madeira. Algumas fábricas tentam controlar a variabilidade, fazendo uma avaliação prévia da qualidade de suas florestas, antes de suas colheitas. Outras, convivem com essa variabilidade, desenvolvendo "receitas mágicas de mix de madeiras". Procuram dosar em misturas mais ou menos conhecidas e constantes as suas madeiras de forma a uniformizar a alimentação aos digestores. Uma grande maioria de empresas possui dificuldades de suprimento de madeira e tem que utilizar a madeira que está disponível, algumas vezes de fontes distantes geograficamente.



Madeira das árvores: uma matéria-prima variável em suas qualidades

Outra interessante constatação que se observa em fábricas de celulose é que as áreas de estocagem das toras e preparação dos cavacos só mais recentemente sofreram avanços tecnológicos mais significativos. Também, só na última década que as fábricas de celulose passaram a colocar mais atenção e investimentos nessas áreas. No passado, a área de estocagem da madeira guardava madeira para ela não faltar no processo. A área de picagem tinha a missão de fragmentar a madeira em pedacinhos, classificando-os para separar a serragem e as lascas e "nós". Era só isso e nada mais que isso. As perdas de madeira eram então enormes, atingindo-se com facilidade valores de 5% ou mais entre lascas, tocos, pó de madeira, etc. Hoje, isso evoluiu muito, afinal a fabricação de celulose começa na boa

madeira e em boa qualidade de cavacos, selecionados, classificados e gerenciados para o sucesso da produção e da qualidade do produto. Portanto, hoje temos mais tecnologia e mais gestão nas áreas de preparação da madeira para o processo fabril. Como vantagem adicional, como muitas fábricas desenvolveram geração de energia com base em biomassa combustível, os cavacos e as madeiras defeituosas podem abastecer as caldeiras de força e não os digestores.



Eucaliptos: sucesso florestal e industrial para produção de celulose e papel

Outra mudança tecnológica que tardou muito, mas que finalmente chegou há poucos anos, foi a introdução de um real vaso de pré-impregnação dos cavacos nos modernos digestores. Com isso, as diferentes qualidades de madeira presentes nos cavacos podem pelo menos serem impregnadas decentemente pelo licor de cozimento antes de se atingirem temperaturas acima do ponto de deslignificação. Um grande sucesso tecnológico que permitiu ganhos em qualidade e em rendimentos na fabricação da celulose kraft.

Apesar de todas essas evoluções e mudanças tecnológicas, isso tudo não altera em nada o fato básico que é o seguinte: "a madeira que entra no digestor, independentemente de qual digestor e em qual floresta ela tenha sido produzida, é variável em qualidade". Essa variabilidade é a soma da variabilidade natural da madeira e da variabilidade agregada pelo homem na gestão do suprimento e da própria conversão da madeira.

Resumidamente temos:

Variabilidade natural:

- Diferenças em qualidade dentro da própria árvore e entre árvores da floresta;
- Presença de madeiras atacadas por pragas ou doenças;
- Presença maior ou menor de nós ou partes residuais de ramos inseridos no corpo das árvores;
- Etc.

Variabilidade causada pelo homem:

- Gestão do “mix” de madeira (mistura de espécies, clones, idades, cavacos de resíduos de serrarias, etc.);
- Gestão da estocagem da madeira (umidade, apodrecimento e deterioração, etc.);
- Picagem e classificação dos cavacos;
- Etc.

Quando a indústria papeleira consumidora de celulose de mercado passou a comprar celuloses obtidas de madeiras de florestas plantadas notou que a variabilidade era bem menor. Os papeleiros se encantaram com a chance de terem polpas mais uniformes, com amplitudes de variação menores para as propriedades e características mais importantes dessas fibras celulósicas.

O mesmo tipo de expectativa também ocorreu entre os fabricantes de celulose. Passaram a acreditar que a vida seria bem mais fácil quando tivessem como matéria-prima as madeiras oriundas de florestas de uma única espécie ou de um único clone. Logo, em pouco tempo, essas expectativas diminuíram. É óbvio que a variabilidade é menor ao se consumir madeiras de clones ou madeiras de uma única espécie a uma mesma idade de colheita. Entretanto, os sonhos de se terem madeiras altamente uniformes, e como consequência, o mesmo para as polpas celulósicas, estão longe de serem concretizados. É possível que nunca o serão. Isso porque madeira é madeira. Madeiras são formadas por seres vivos e constituem-se na maior parte dos corpos desses seres vivos. Possuem diferentes tipos de elementos anatômicos formados em diferentes situações de ambientes e de fisiologia. Temos então que entender bem essa variabilidade, suas causas, suas consequências, e procurar sua minimização.

Já que estamos falando em variabilidade, outro grande problema com o qual o setor convive é que se acostumou a trabalhar com medições de valores médios e pouco se preocupa com as amplitudes de variação. Vou lhes colocar alguns exemplos do que estou falando:

Exemplo 01: Densidade básica da madeira

Os controles sempre se fazem com base nos valores médios das densidades básicas das árvores, das florestas e dos cavacos. Por exemplo, se fizermos a determinação da densidade básica de cinco amostras de cavacos colhidas de uma pilha de cavacos bastante desuniforme (misturas de cavacos de diferentes espécies), é bem possível que os valores obtidos sejam próximos. Por exemplo, entre 0,48 a 0,52 g/cm³.

Suponhamos que os valores individuais para cada amostra tenham sido:

Amostra 01: 0,51 g/cm³

Amostra 02: 0,49 g/cm³

Amostra 03: 0,52 g/cm³

Amostra 04: 0,50 g/cm³

Amostra 05: 0,48 g/cm³

O valor médio seria 0,50 g/cm³. O laboratório reporta que a densidade básica média dos cavacos foi 0,50 g/cm³ e que a variação dessa densidade esteve entre 0,48 a 0,52 g/cm³. Entretanto, se fizermos a densidade básica de cada cavaquinho de madeira dessas amostras teremos valores que muito possivelmente variarão de 0,40 a 0,60 g/cm³. Vejam então que não conseguimos enxergar os limites de nossa variabilidade, apenas nos concentrarmos em valores médios dessa população e a variação das médias.

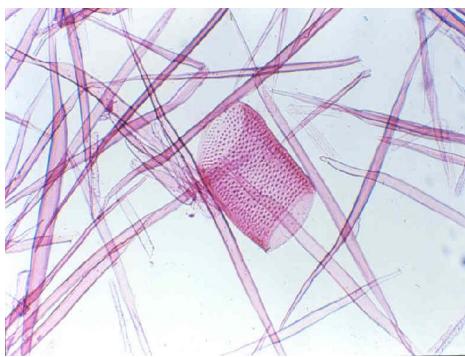
Exemplo 02: Coarseness das fibras

Essa é uma característica das fibras das mais medidas hoje em dia. Seus valores médios variam entre 5 a 11 mg/100 metros para as polpas de eucaliptos. Tudo dependerá da espécie de *Eucalyptus*, da idade das árvores, do clone melhorado, etc. Uma mesma fábrica, ao usar um “mix” controlado de madeira, acaba quase sempre obtendo valores similares de coarseness, por exemplo, entre 6,5 a 7 mg/100m. Mais uma vez, estamos apenas olhando o valor médio da população. Temos fibras com paredes muito espessas misturadas com fibras de paredes delgadas e flexíveis. Temos também fibras mais longas, com o dobro do comprimento de outras. E não conhecemos essas proporções e amplitudes.

Exemplo 03: Propriedades físico-mecânicas das celuloses

Os laboratórios costumam colher amostras compostas de celulose ao longo do dia (ou da semana) para misturar as mesmas e fazerem ensaios de refinação e testes físico-mecânicos de folhas produzidas no próprio

laboratório. Obviamente, quase todos os refinados mostrariam valores similares. As variações pontuais de qualidade que ocorrem acabam sendo ocultadas pela maneira de se misturar todas as amostras colhidas e se trabalhar com as tais “amostras compostas”. Quando relatam um valor médio para tração por exemplo, estão apenas nos dando uma estimativa para esse ensaio de polpa, mas nada informarão sobre a variabilidade entre os lotes de celulose.



Por essas razões e por outras também, os papeleiros tendem a estar sempre “reclamando” de suas polpas consumidas. Eles desconhecem suas propriedades e as causas de sua variação. Têm pouca visibilidade sobre as suas matérias-primas. Isso também acontece com os fabricantes de celulose: estão sempre temerosos das madeiras que vão entrar no processo, mesmo que os parâmetros médios de qualidade nada indiquem de dificuldades.

Por exemplo, tem sido cada vez mais comum nas fábricas de celulose de eucalipto o fato de que a entrada de um novo clone no processo industrial cause um enorme desbalanceamento na operação. Isso mesmo que o clone novo tenha valores de lignina na madeira e densidade básica similar ao clone que está sendo deixado de ser processado. Falaremos mais sobre isso em seção adiante.

Sabemos que na Natureza e nas nossas operações nunca encontraremos situações em madeiras e polpas como as que se seguem:

- Isentas de extractivos;
- Isentas de cinzas;
- Isentas de lignina;
- Isentas de contaminantes;
- Amplitude de variação igual a zero para as características de qualidade.

Portanto, temos que aprender a conviver com a variabilidade, entendê-la mais e buscar conhecer os extremos de sua variação, não apenas os valores médios e as médias das médias. São os valores extremos que nos oportunizam diferenciações nas madeiras e em nossos produtos, como

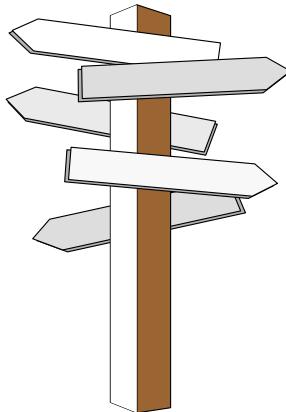
veremos mais adiante nesse capítulo. Eles também podem explicar melhor nossas dificuldades processuais e operacionais.

O aspecto de valores mínimos é também muito praticado pelo setor, garante-se um mínimo confortável, mas não se preocupa em saber qual a amplitude acima desse mínimo. Alguns exemplos são até patéticos:

- Alvura mínima da polpa de 87% ISO – Ora, será que o cliente ficará satisfeito em receber polpas com fardos a 87% e outros a 92%. Será que isso não lhe dará papéis com tonalidades diferentes e reclamações no mercado?
- Densidade básica mínima na madeira de $0,50 \text{ g/cm}^3$ - Ora, será que os operadores do picador e do digestor não notarão diferenças ao receberem madeira com densidades básicas de $0,50$ e $0,58 \text{ g/cm}^3$?

Em função de todos esses argumentos aqui colocados até agora, é fácil se entender alguns fenômenos conhecidos no setor, tais como:

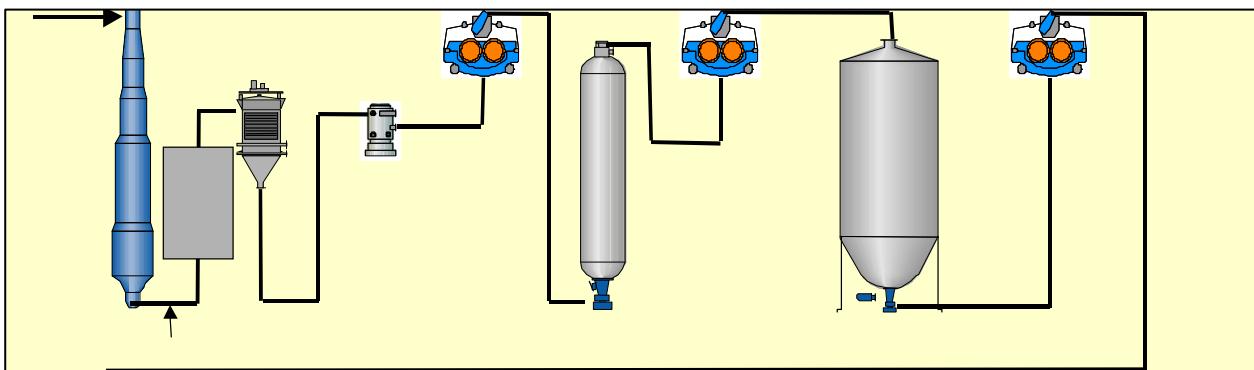
Fenômeno 01: “Diferentes empresas apresentam diferentes especificações para qualidade da madeira ou das polpas para fabricar mesmo produto”



Qualidades e qualidades: o que define aquela considerada “ideal”?

As empresas especificam a qualidade da matéria-prima em função da performance que obtêm, tanto de suas máquinas, como da qualidade do produto final. Como cada empresa tem suas singularidades dentro de seu desenho industrial (em seus picadores, digestores, lavadores, linha de branqueamento, sistemas de evaporação e recuperação do licor, refinadores, máquina de secar a folha, etc.) serão os gargalos de produção (ou restrições) que irão ditar as especificações das matérias-primas. Por

exemplo, se a fábrica de papel tiver baixa capacidade de secagem (dimensionamento da secagem da folha e disponibilidade de vapor) a especificação será para celulose com excelente capacidade de drenagem na mesa plana e desaguamento nas prensas. Ela não vai tolerar polpas que necessitem muito refino para atingir as resistências, pois vai perder "runnability" (maquinabilidade). Isso significa perder produtividade, reduzir velocidade das máquinas, etc.. Se essa fábrica comprar celulose no mercado, ela vai querer polpas com menor população fibrosa, mais alta "coarseness" e maior teor de hemiceluloses. Se for uma fábrica integrada, tenderá a preferir madeiras mais densas (espécies ou clones densos, ou maior idade de colheita da floresta). Também dará preferência a madeiras com maiores teores de hemiceluloses (pentosanas, por exemplo). Em seu processo industrial, deverá se esforçar para não gerar mais rejeitos no cozimento e para não remover demasiadamente as hemiceluloses no cozimento, na deslignificação com oxigênio e nos estágios alcalinos do branqueamento.



Produção de celulose: contínuas evoluções tecnológicas a favorecer ou a pressionar a qualidade das madeiras

Muitas vezes, uma fábrica de celulose ou de papel faz uma importante modernização ("upgrade") em seu processo industrial e o que era gargalo ou restrição deixa de existir. Nesse momento, ela acaba por modificar as suas especificações de matérias-primas, pois o que era limitante, deixa de sê-lo. Quando isso acontece e é comunicado ao fornecedor de madeira (área florestal) ou de polpa de mercado (fornecedor de celulose) a reação nem sempre é positiva. Essas áreas fornecedoras que trabalharam durante anos desenvolvendo uma madeira ou uma celulose especial para aquele cliente, percebem que tudo mudou de uma hora para outra. Mudou o processo, mudam as especificações das matérias-primas. A tendência é se reclamar muito, dizer que o cliente é volátil, não sabe o que quer, e assim por diante. Só mesmo um afinado e saudável diálogo entre os fornecedores e clientes é que vai permitir confiança entre as partes e as adequadas otimizações da rede produtiva.

Outras vezes, e essa é uma situação até mesmo cômica (ou triste), as mudanças tecnológicas feitas na modernização eliminam os gargalos e restrições que ditavam as especificações das matérias-primas, mas os técnicos sequer percebem isso. Continuam a exigir as velhas e obsoletas especificações, às vezes com muito sofrimento e custos para serem alcançadas. São comuns especificações como: baixo teor de extractivos na madeira, “cor clara” da madeira (sem presença de cerne maduro). Hoje, com as etapas de deslignificação com oxigênio em dois reatores, as mais eficientes lavagens das polpas, o uso de surfactantes, etc., esse problema de extractivos está muitíssimo minimizado. Então, porque continuar limitando certas madeiras ao processo, quando isso é desnecessário?

Outras vezes, as especificações da madeira são definidas também pela área de picagem da madeira, com seus obsoletos picadores e peneiras classificadoras. São exigidas por exemplo, toras com diâmetros máximos de 35 cm e densidade básica inferior a $0,50 \text{ g/cm}^3$. Quando a linha de picagem sofre uma modernização tecnológica, essas especificações podem perder validade, ou passarem a ser outras mais flexíveis. Entretanto, ao mudar as especificações na picagem das toras seu cliente de cavacos da área de linha de fibras vai sentir a mudança. Também a área de fabricação de papel poderá ser impactada. Mais uma vez a necessidade de continuados diálogos e constantes argumentações técnicas para mais sólidas decisões.

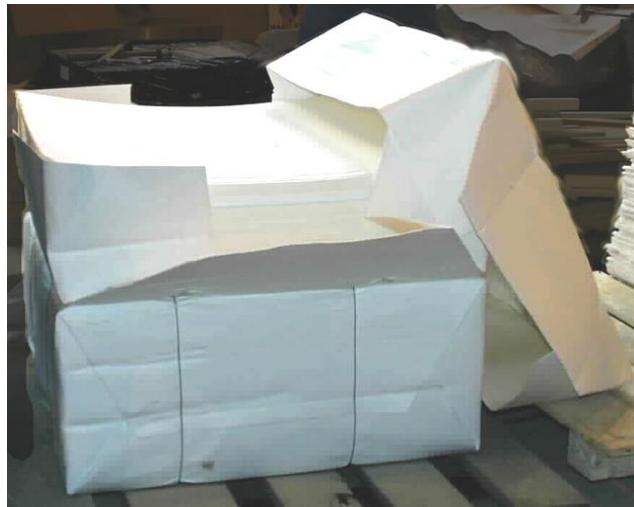


Cavacos de madeira: uma face que oculta a grande variabilidade da madeira

Por isso tudo, não se surpreendam com as contradições acerca das “qualidades ideais” das madeiras ou das polpas celulósicas. Elas acabam sendo únicas e específicas para cada situação. Não existe definitivamente uma qualidade universal da madeira ou da polpa de eucalipto. Essas

especificações variam em função do tipo de papel, em função das tecnologias de produção de celulose ou de papel, e da forma como é feita a gestão operacional e tecnológica da empresa em questão. Portanto, até aqui existe variabilidade: na gestão, nas máquinas e nas idéias.

Fenômeno 02: "Diferentes polpas comerciais de eucalipto apresentam distintas performances papeleiras"



Celulose de mercado: sucesso comercial dos eucaliptos

Deveria ser muito comum uma alta e íntima relação entre o consumidor e o produtor de celulose de mercado. O comprador busca sempre a polpa que lhe oferece melhor performance na produção: menos quebras, maior velocidade de máquina, maior produtividade, melhor drenagem, melhor desaguamento, menor consumo de vapor na secagem, menores consumos de químicos, menores custos, etc. e que permita atingir as qualidades desejadas no papel. Evidentemente, há uma outra série de propriedades que ele consideração obrigação do fornecedor: alvura, estabilidade dessa alvura, limpeza, etc. Algumas outras propriedades ele sequer se interessa conhecer, pois não estão dentre as suas preocupações, nem lhe causam pesadelos.

Na maioria das vezes, o fornecedor de celulose não entende isso. Ele não sabe muito sobre as tecnologias de seus clientes, tenta vender a celulose só com base em certificados de análises laboratoriais. Esses certificados na sua maioria se baseiam em dados de médias de algumas análises, quase todas periféricas para o usuário. Faltam características de interesse e faltam valores de amplitude na variação dessas propriedades.

Para mim, está claro que deva haver uma mudança de postura técnico-comercial dos fornecedores de celulose de mercado. Não estamos de forma alguma esperando que o fornecedor de polpa de mercado deva ir à casa do cliente “ensinar” a como usar melhor a sua polpa. Seria muita audácia e muita prepotência, mudar o cliente para ele se adequar à polpa sendo oferecida... Nas áreas de fornecimento de produtos químicos, os fornecedores já aprenderam a melhorar esse relacionamento. Qualquer fornecedor de anti-espumantes, de anti-pitch, de cargas minerais, etc. costuma colocar um experiente técnico na casa de seu cliente para acompanhar a performance de seus produtos, ajudando a otimizá-la. Esse técnico costuma conhecer muito bem os produtos que vende e sabe como adequá-los às situações dos clientes, para ótimo desempenho. Ele passa a ser fundamental nessa relação técnico-comercial.

Já os fornecedores de celulose de mercado têm mais dificuldades para assim atuar. Faltam técnicos qualificados e versáteis, a distância geográfica costuma ser grande, e muitas vezes o papeleiro “não quer abrir o jogo em relação às suas receitas mágicas”. Acaba resultando uma baixa interação, pouco diálogo e visitas esporádicas para algum tipo de *happy hour* apenas. Uma lástima e um desperdício.

Na tentativa de melhorar essa relação, coloco aqui como sugestão a todos os produtores de celulose de mercado que oferecem serviços técnicos aos seus clientes papeleiros, que procurem obter com eles as respostas para as seguintes 4 perguntas:

- Qual o principal atributo que se objetiva no papel onde a celulose de eucalipto esteja sendo usada?
- Porque razão o cliente usa a celulose do eucalipto?
- Quais os principais atributos que a polpa do fornecedor de celulose de mercado em questão apresenta? Esses atributos são similares às polpas da concorrência? Quais são melhores ou piores? Porquê?
- Quais os gargalos operacionais da fabricação desse papeleiro que está comprando a celulose em questão? O que lhe causa dores de cabeça?

A partir dessas respostas fica muito mais fácil se oferecer um serviço técnico ao cliente com muito mais qualidade, não acham? Você está agindo assim? Já havia pensado nisso?

Para evitar surpresas, é muito comum que cada usuário de polpa de mercado tenha preferência pela celulose de um determinado fornecedor. Nessa intimidade técnica e comercial precisa permear muita confiança e rápida e efetiva comunicação. Caso isso não aconteça, a qualquer mudança mais drástica que tenhamos na matéria-prima madeira da fábrica de celulose, os impactos sobre os clientes da celulose poderão ser significativos. Cada alteração mais significativa nas tecnologias ou nas matérias-primas

precisam ser negociadas, explicadas e acordadas com os consumidores da celulose. Por exemplo, uma mudança na seqüência de branqueamento poderá afetar em muito a performance da polpa de mercado. Se o cliente da celulose não estiver preparado e esclarecido, ele vai desaprovar a "nova qualidade", mesmo que acreditássemos que ela seria melhor para o cliente. Muitos fornecedores de celulose não entendem isso. Acham que é muita intromissão dos clientes em seus processos produtivos e em suas matérias-primas fibrosas. Por isso, é fundamental que não apenas o fornecedor de celulose coloque técnicos experientes para ajudar a otimizar a fabricação do papel, como também o cliente do papel envie os seus técnicos para a fábrica de celulose e para as florestas para entender as inter-relações entre os processos florestais, e de produção de celulose e papel.

Hoje, com os sistemas de gestão da qualidade, são comuns as auditorias de fornecedores. Entretanto, essas auditorias estão longe de caracterizarem uma interação cliente/fornecedor. Tratam-se mais de avaliações documentais, de aderência à norma ISO 9000, de confiabilidade dos dados e de observância de procedimentos. Não há na verdade um objetivo de se otimizar as operações nas relações cliente/fornecedor.

Então, aqui também e mais uma vez, encontramos uma outra grande verdade: "as celuloses produzidas por diferentes linhas de fibras apresentam singularidades específicas". Isso pode acontecer inclusive dentro de uma única fábrica que possua dois digestores de idades tecnológicas diferentes. Ou seqüências de branqueamento diferentes. Essas singularidades são resultado das madeiras utilizadas e das características tecnológicas de cada linha de fibras. Podem ser de maior ou de menor significado. Temos que entender isso muito bem: os porquês e os como? Às vezes, são por alguma dessas singularidades que as celuloses são preferidas pelo cliente. Será que conhecemos quais seriam elas? Será que conhecemos as limitações dos clientes e por quais razões nossas celuloses performam melhor ou pior exatamente por causa dessas limitações.

Não existe portanto uma celulose universal de eucalipto que seja de boa e uniforme performance para todos os papeleiros e para todos os tipos de papel. Até porque as fábricas de papel também são singulares e únicas, cada uma com suas verdades, mitos, limitações, gargalos, crenças e preferências. Tudo dentro do esperado para fábricas desenhadas e operadas por humanos. Por isso, quando chamamos as celuloses de eucaliptos de "commodities", estamos só nos referindo à parte comercial, à relação entre os preços sendo influenciados pela relação oferta/procura. Se uma polpa é diferenciada e apreciada por muitos clientes, ela perde esse rótulo de "commodity", embora seu preço também venha a variar com as disponibilidades de polpas nos mercados. Só que em outros patamares.

Na verdade, a rede de valor do papel é muito mais ampla que a floresta, a fábrica de celulose e a de papel. Temos os milhares de usuários

do papel, os recicladores de papel, aqueles que se apoiam em outros produtos fibrosos, etc., etc. Uma enorme rede produtiva, tão pouco estudada como rede e muito mais estudada em cada nó dessa rede.

Pode-se dizer que existem milhões de estudos para as árvores, florestas e madeiras dos eucaliptos, fácil de se localizar muitos deles hoje pelas ferramentas de busca na web. Também se encontram milhões de pesquisas e informativos sobre as qualidades dos papéis, celulosos e utilizações desses produtos. Nas áreas gráfica, de embalagens, de higiene, etc., a mesma abundância de informações. Já em relação às interações, diálogo e otimizações nessa rede de valor, há ainda muito a se fazer. Essa falta de interação não ocorre apenas entre diferentes empresas, mas inclusive dentro da mesma empresa, entre suas diversas áreas operacionais e tecnológicas.

No presente capítulo de nosso **Eucalyptus Online Book** tenho como meta navegar e debater alguns pontos críticos dessa rede de valor, mostrando quais as dissonâncias e as integrações possíveis, quais as oportunidades para otimizações e o que precisa ficar esclarecido para os atores dessa rede. Considero esse capítulo mais como uma cartilha para todos os que querem produzir melhores árvores, madeiras, papéis e celulosos a partir das florestas plantadas dos eucaliptos. Meu propósito é lhes apresentar diversos mitos e questionar alguns posicionamentos que tenho encontrado no setor em relação às qualidades das madeiras e das polpas celulósicas para a indústria do papel. Não será portanto um tratado cheio de técnica e ciência, pelo contrário, espero que ele possa ter uma enorme aplicabilidade prática. Em outros capítulos, procurarei desenvolver com mais detalhes da ciência alguns dos tópicos aqui abordados. Minha meta é trazer a vocês uma visão holística de quem está no setor há mais de 40 anos, com alguma experiência portanto nesses temas.

Existe um longo caminho, seja na produção da madeira, da celulose, do papel, de seu uso e da reciclagem do mesmo. Ao longo desse caminho temos diferentes atores e cada um deles com seus interesses, motivações, limitações, sonhos e vaidades, porque não? Apesar do esforço de muitos técnicos para buscar aumentar essa integração na rede de valor do papel, ela está longe de ser a ideal. Acredito que ao começarem a ler esse capítulo, já mesmo nessa introdução, vocês devem ter percebido que ele está sendo escrito para ajudar, para desafiar, para mostrar dificuldades, para apresentar o que é mais relevante e também para que se vislumbrem melhor as oportunidades. A cooperação mútua, o entendimento das limitações, a visão de oportunidades e o esforço integrado poderão ajudar a melhorar nosso setor através de uma otimização global e não apenas de um nicho específico da rede.



Nossa indústria de celulose e papel cresce aos mesmos ritmos entusiasmantes das árvores de nossas florestas plantadas de eucaliptos

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PAPÉIS PRODUZIDOS COM POLPAS KRAFT BRANQUEADAS DE EUCA LIPTO

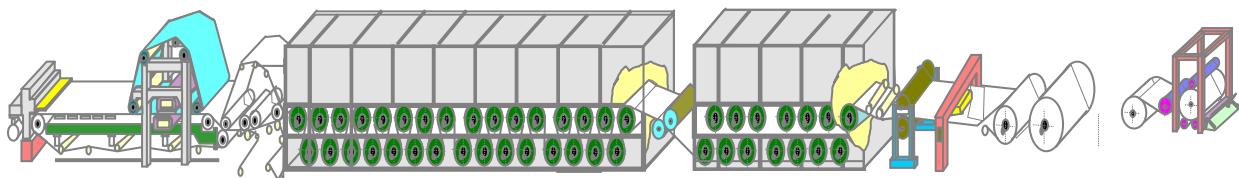


Começarei a discutir a rede de valor do eucalipto para produção de papéis brancos a partir do que se objetiva nos papéis com o uso dessas fibras celulósicas. O papeleiro, ao buscar utilizar fibras de eucaliptos, tem alguns objetivos em suas operações e para seus produtos.

A primeira das razões, e talvez da mais relevante importância, é o menor preço das fibras curtas dos eucaliptos em relação às fibras longas de coníferas. Essa relação de preços é perfeitamente compreensível e

justificada. Gasta-se muito menos madeira para se produzir uma tonelada de celulose de eucalipto em relação ao que se gasta para mesma tonelada de polpa de coníferas. Isso é função da menor densidade básica e do maior teor de lignina das madeiras de coníferas em relação às dos eucaliptos. Segundo, uma mesma fábrica de celulose kraft quando opera sua linha de fibras com eucaliptos (linha de polpa não branqueada) consegue ser muito mais produtiva do que se operasse com madeira de coníferas. Significa, que ao se alimentar mesmo volume de cavacos no digestor, produz-se muito mais celulose quando os cavacos são de eucaliptos, em relação aos cavacos de coníferas. Daí para diante na linha de fibras, tais como branqueamento, secagem, etc. teremos que adequar a dimensão da fábrica aos eucaliptos, já que mais celulose estará sendo descarregada do digestor. Uma grande vantagem que oferecem os eucaliptos, para mesmo gasto de capital na linha marrom, produz-se muito mais celulose não branqueada (25 a 40% mais).

É ainda importante se mencionar que, independentemente do tipo de papel sendo fabricado, todos os papeleiros possuem o que eu chamo de "necessidades fisiológicas básicas". Essas sim são similares para todos os papeleiros. Elas também ocorrem entre os fabricantes de celulose. Podemos citar as principais: produtividade, eficiência operacional, qualidade e custos de produção. Não importa qual seja a fábrica, qual processo, qual local geográfico - essas fisiologias são vitais.



Fonte desenho: Carvalho, Pinto, Massaferro; 2004

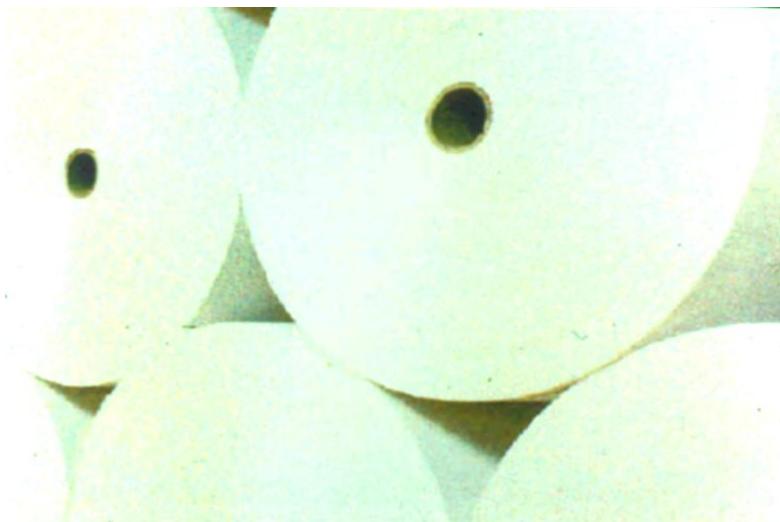
No caso da fabricação do papel, Produtividade exige velocidade rápida na máquina de papel, rápida drenagem na mesa plana, alta consistência após as prensas úmidas, mínimo número de quebras da folha ao longo da máquina de papel. Qualidade implica em máxima percentagem de papel atingindo as especificações e mínima geração de refugos ("broke"). A ótima eficiência da máquina de papel é o sonho de qualquer fabricante de papel. Ele sonha com suas máquinas trabalhando alinhadas, na máxima velocidade sustentável, sem quebras de folha, e conseguindo atingir a qualidade desejada e requerida pelos seus clientes. A consequência direta disso é que todos os Custos Unitários de Produção, tanto os custos variáveis como os

fixos, serão otimizados. Não há dúvidas portanto, que a boa celulose é aquela polpa que traga essas felicidades ao papeleiro. Seus sonhos de produtividade, qualidade, eficiência e custos estão intimamente relacionados à polpa que ele estiver utilizando.

Algumas das propriedades das polpas são bastante relacionadas a essas performances operacionais. Por essa razão, os papeleiros estão sempre muito atentos a elas. Algumas dessas propriedades são devidas à qualidade da madeira, outras dependem do processo de conversão da madeira a celulose (cozimento, branqueamento, secagem) e outras dependem da interação madeira/processo de fabricação de celulose. Dentre essas últimas podemos citar: viscosidade, degradação das cadeias dos carboidratos, resistência das fibras individuais, capacidade de ligação entre fibras, grupos aniônicos nas fibras, teor de hemiceluloses, teor de finos, etc. Outras características vitais que dependem muito das fibras no processo de produção do papel são as seguintes: IRA – Índice de Retenção de Água e RFU - Resistência da Folha Úmida. Infelizmente, essas características quase não são controladas na fabricação do papel e poucas vezes incluídas nos programas de melhoramento da qualidade das polpas celulósicas. Mas elas deveriam e muito.

Uma outra propriedade vital das polpas que depende tanto da madeira como das operações industriais é o teor de finos das mesmas. Os finos das madeiras são preferencialmente células de parênquimas, mas nas polpas eles incluem: fragmentos de fibras e de elementos de vaso, fibrilas, géis, etc. Muitas operações das fábricas de celulose e de papel geram finos nas polpas: picagem da madeira, bombeamento, mistura dinâmica da massa, prensagem, refinação, corte de folhas, etc., etc.

Sabedores que as fibras celulósicas possuem características diferenciadas e muitas vezes únicas, é importante se conhecer “por quais razões os papeleiros querem fibras de eucaliptos em suas receitas mágicas”. As fibras de eucalipto são especialmente apreciadas para a fabricação de alguns tipos nobres de papéis “tissue” (sanitários, lenços e toalhas faciais), para papéis de impressão e escrita e base para papel revestido e para alguns tipos de papéis especiais (decorativos, por exemplo).



As mais importantes e reconhecidas qualidades que as fibras dos eucaliptos oferecem à qualidade dos papéis são as seguintes:

"As onze qualidades vitais dos papéis fabricados com fibras de eucalipto"

1. Formação da folha

As fibras curtas do eucalipto originam flocos pequenos, quando em suspensão aquosa, não formando as conhecidas nuvens nas folhas do papel, quando ele é olhado contra a luz. A formação deficiente acarreta variações da gramatura e espessura nas folhas de papel. Isso prejudica operações seguintes como calandragem, revestimento, impressão, etc. Ao se calandrar um papel de formação pobre formam-se manchas escuras no papel o brilho é irregular e muitas vezes aparecem manchas transparentes (devido à prensagem úmida de pelotes de fibras). A formação do papel é uma de suas propriedades vitais. As fibras dos eucaliptos são reconhecidas como muito favoráveis a essa propriedade.

2. Volume específico aparente ("bulk") ou mão (em Portugal) do papel

O volume específico aparente é a propriedade inversa à densidade das folhas. Relaciona-se à capacidade de uma determinada folha de papel mostrar maior ou menor volume (ou espessura) a uma determinada

gramatura. Folhas muito volumosas podem ser obtidas com as fibras curtas e rígidas dos eucaliptos, especialmente nos níveis iniciais de refinação da massa. Essa propriedade associa-se muito à porosidade das folhas de papel. Ela interfere em inúmeras características de uso dos papéis.

Um maior volume específico possibilita:

- Economizar fibras de celulose para se fabricar papéis de mesma espessura, diminuindo-se com isso a gramatura;
- Produzir livros mais grossos para um mesmo número de páginas ("venda de enciclopédias por volume e não por conteúdo");
- Produzir papéis "tissue" para fins faciais ou higiênicos que mostrem elevado volume para um mesmo peso ou área de papel. Isso dá ao usuário uma notável sensação de "fofura" do material ("fluffness");
- Produzir papéis que exigem alta porosidade como aqueles que demandam impregnação com tintas ou resinas (papéis decorativos, filtros industriais, papel de cigarro, etc.).
- Etc.

Entretanto, volume específico elevado também tem suas desvantagens. Folhas volumosas têm menos ligação entre fibras e podem originar folhas com estruturas mais frouxas e mais fracas. Essas estruturas possuem baixas resistências superficiais. Com isso, fibras, finos e elementos de vaso podem escapar da rede do papel no manuseio e uso do mesmo. Por isso, a necessidade de se colar superficialmente melhor os papéis de impressão de eucalipto. Uma forma de se contornar esse problema é buscar celuloses que oferecem altos volumes específicos, mas com mais alto teor de hemiceluloses.

3. Porosidade / Resistência ao ar

Propriedade que se relaciona muito bem ao volume específico do papel. Corresponde à capacidade da folha de papel em ser atravessada por um fluxo de ar. Não confundir com permeabilidade a líquidos, que é outra propriedade do papel. Quanto mais frouxa a estrutura da folha de papel, maior é a porosidade, mas também menor é a ligação entre as fibras. A porosidade pode ser expressa pela sua propriedade inversa, que é a resistência ao ar. Quanto maior a resistência ao ar, menos porosa é a folha de papel. Medimos então a dificuldade do ar passar pela folha de papel e não sua facilidade.

4. Absorção de líquidos pela folha de papel

As folhas produzidas com fibras pouco refinadas de eucalipto possuem alta capacidade de absorver rapidamente e de reter água ou tintas por micro-capilaridade. Por essa razão, as fibras de eucaliptos são muito utilizadas para se fabricar papéis "tissue" e papéis de impressão. As tintas de impressão impregnam mais facilmente as folhas. No caso de papéis decorativos, as resinas fenólicas ou melamínicas também penetram mais facilmente para o interior do corpo do papel.

É importante nesse momento já lhes contar que existe uma grande diferença entre o ensaio de absorção Klemm de água pela folha de papel (penetração capilar na folha) e o de retenção de água pelas fibras de celulose - IRA ou Índice de Retenção de Água da polpa - (adsorção e retenção pela micro-capilaridade e pelos grupos iônicos). Indicam coisas diferentes e não podem ser confundidos. Até porque seus resultados caminham em sentidos opostos. Uma folha de papel para ser facilmente penetrada pela água deve ter sido produzida com celulose de baixo IRA, caso contrário a fibra se hidrata, incha e se fecha e a capilaridade se perde.

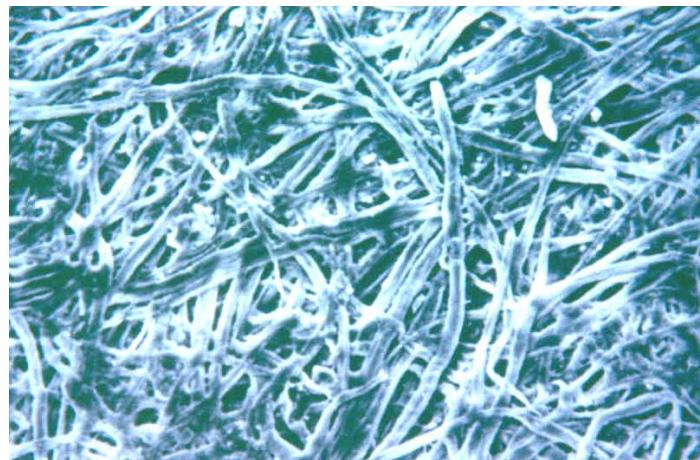
5. Lisura do papel

As fibras curtas dos eucaliptos são também mais estreitas em seu diâmetro (ou largura). Isso favorece uma melhor distribuição superficial das fibras, com uma maior lisura das superfícies. A lisura se correlaciona muito bem com a população fibrosa da polpa de celulose. Papéis mais lisos são ideais para impressão e para revestimento, pois permitem economias nas tintas de imprimir ou revestir. Entretanto, deve-se buscar sempre os níveis adequados de lisura que permitam bom contato entre o equipamento de aplicação da tinta e a superfície da folha de papel.

6. Opacidade do papel

A opacidade (capacidade do papel de se deixar atravessar pela luz) é fortemente influenciada pela alta população fibrosa das polpas de eucalipto. Quanto mais fibras temos na folha de papel, melhor é a formação e mais difícil se torna para os feixes de luz atravessarem a mesma. Isso porque aumenta a potencialidade de refração e de reflexão da luz no corpo da folha de papel. Com isso, grande parte da luz é desviada e não atravessa toda a espessura da folha de papel. Essa propriedade é vital para papéis de

imprimir e escrever e para os papéis decorativos. Quanto mais opaco é o papel, mais capacidade ele tem para esconder o que vem debaixo dele.



7. Imprimibilidade da folha



A conjugação das propriedades de lisura, absorção a líquidos e opacidade favorecem a imprimibilidade das folhas de papel feitas com fibras celulósicas de eucalipto. Essa situação é tão vantajosa que muitos papéis ou cartões são feitos em multi-camadas, sendo a camada superficial (aquela a se imprimir) fabricada com 100% de polpa de eucalipto.

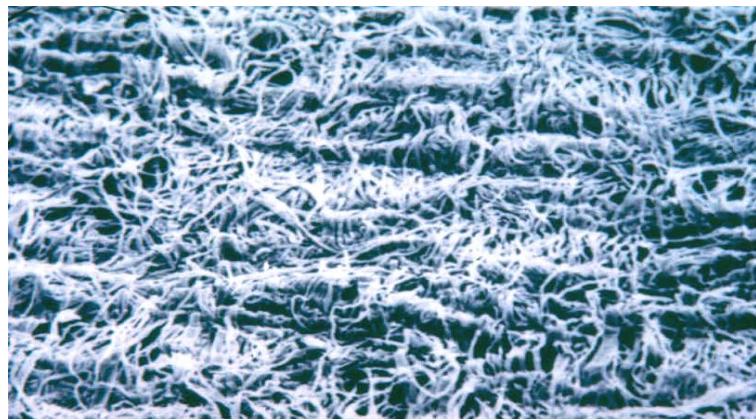
8. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional é uma muito importante propriedade exigida nos papéis de impressão. Essa propriedade é excelente em folhas de papel fabricadas com fibras pouco refinadas de eucalipto. A estabilidade dimensional é fortemente influenciada por processos que envolvam água (higro-expansão e inchamento) ou secagem (encolhimento e contração). Quanto maior o refino aplicado às fibras pior é a estabilidade dimensional, pois aumenta a fibrilação, o inchamento e o teor de grupos aniônicos (carboxilas) nas polpas. Também, o maior teor de hemiceluloses presente nas polpas favorece a interação fibra/água, o que pode prejudicar a estabilidade dimensional, especialmente quando se refina a polpa mais do que se deve.

9. Maciez do papel “tissue”

A sensação de maciez ou de suavidade ao tato é uma das propriedades muito desejadas nos papéis mais nobres da linha de papéis “tissue”. Existem dois tipos de sensações em avaliação: aquela correspondente a passar a mão sobre a superfície do papel (maciez superficial) e a que se sente ao se comprimir/amassar o papel com as mãos (maciez estrutural).

Sente-se um papel como macio quando se toca pelo tato um papel feito com fibras curtas quase sem refinação. As folhas feitas com fibras refinadas desenvolvem resistência, mas a folha “se fecha” e a sensação de maciez se perde. Por isso, diz-se que o papel para ser macio deve ser feito com o mínimo ou nenhuma refinação. As fibras longas dão mais sensação de aspereza, enquanto as fibras curtas do eucalipto sem refino ou com mínimo refino, oferecem excelente sensação táctil de suavidade e maciez. Portanto, existem conflitos sérios entre a resistência da folha (seca ou úmida, mas dependente de ligações entre fibras) e as expressões de maciez.



Papéis sanitários e sua superfície crepada

10. Brilho da superfície do papel

A calandragem das superfícies lisas de folhas feitas com celulose do eucalipto melhora muito o brilho das folhas de papel.

11. Adequadas resistências das folhas secas e úmidas

As fibras curtas dos eucaliptos demandam refino para ganharem resistência da folha, tanto da folha seca, como da folha úmida. Entretanto, o excesso de refinação prejudica praticamente todas as propriedades do papel que são favorecidas pelas fibras curtas e rígidas dos eucaliptos. Além disso, o refino prejudica a drenagem da água na mesa plana e o desaguamento por prensagem da folha úmida. Com isso, a folha tenderá a sair da parte úmida da máquina de papel com menor valor de consistência. Um veneno, pois a consistência tem relação direta com a resistência da folha úmida. Estabelece-se então um conflito para o papeleiro. Se ele quiser aumentar pela refinação a resistência da folha de papel, para reduzir quebras ou alcançar as especificações feitas pelo cliente, ele estará afetando negativamente propriedades de maquinabilidade, tais como desaguamento, drenagem, consumo de vapor na secagem, aumento do vácuo necessário nas caixas de vácuo, etc. Além disso, estará aumentando a higroscopичidade da folha e prejudicando a estabilidade dimensional do papel pronto. As folhas secas podem encanoar mais e com isso, aumentará o refugo na conversão.

Por essas razões enunciadas, todo papeleiro que usa fibras de eucalipto sabe que a atenção deve ser colocada na refinação e na "runnability" de seu processo. Não adianta comprar uma polpa de eucalipto no mercado pensando em ganhar maciez, porosidade, volume específico aparente, absorção, etc. e depois colocar tudo a perder por uma excessiva ou inadequada refinação. Por tudo isso, o papeleiro que utiliza polpas de eucaliptos em sua massa papeleira deve ter máxima atenção para suas máquinas em relação a:

- Desenho adequado das telas e feltros;
- Limpeza adequada das vestimentas (tela e feltros) e de todo o sistema da máquina de papel;
- Refinação com refinadores (discos e condições) apropriadas às fibras dos eucaliptos;
- Adequada prensagem a úmido para evitar perda de propriedades importantes do papel (porosidade e volume específico aparente);
- Desenho tecnológico da máquina de papel para evitar quebras da folha quando ainda úmida e fraca;
- Conhecimento da capacidade sustentada de produção da sua linha de fabricar papel com relação a velocidade de máquinas, geração e dosagem de refugos, etc.

As quebras das folhas secas ou úmidas não se relacionam apenas à resistência à tração ou ao rasgo. Muitas das quebras se devem a contaminantes, "stickies", pintas, "shives" e outras impurezas do processo fabril. Quantos papeleiros eu já conheci que culpavam regularmente a qualidade das fibras e até mesmo das madeiras, quando a sua ineficiente operação se devia basicamente à sua incapacidade de manter a máquina de papel limpa. Uma ingenuidade, ou mesmo uma incompetência!

Outra razão para quebras de folhas são as dificuldades de drenagem e desaguamento. A polpa muito inchada e hidratada não deságua bem, nem na mesa plana, nem nas prensas úmidas. Como consequência, temos folhas úmidas muito úmidas, com baixo nível de consolidação. Isso é um veneno para a RFU – Resistência da Folha Úmida. Isso é válido para qualquer tipo de papel. Muitas vezes, atribuem-se as responsabilidades desses fatos para as polpas, mas esquecem os responsáveis de olhar o que está acontecendo no preparo de massa, na refinação, na recirculação de finos e água branca, na dosagem e preparo da massa dos refugos, etc.

Ou seja meus amigos, antes de culparem suas matérias-primas, dêem uma volta pela fábrica para ver o que está acontecendo por lá com suas máquinas e operadores. Entendam melhor as limitações de seu processo e as interações existentes. A seguir, busquem as devidas otimizações.

QUALIDADES TECNOLÓGICAS DESEJADAS NAS FIBRAS CELULÓSICAS DOS EUCALIPTOS



Os termos fibras ou polpas celulósicas têm sido utilizados comumente para se referirem à massa de elementos anatômicos que foram individualizados da madeira após o processo de fabricação de celulose. Essa massa possui muito mais que fibras, pois na constituição anatômica da madeira dos eucaliptos existem outros tipos de células: parênquima radial, parênquima axial, fibro-traqueídos, elementos de vaso, etc. É comum também a presença de células do floema, de esclereídeos, etc. Isso devido à contaminação dos cavacos de madeira com certa quantidade de casca das árvores, algo quase inevitável. Entretanto, as considerações são sempre feitas sobre as fibras e muitas determinações acabam considerando essa mistura de elementos anatômicos como "fibras". Os finos (elementos diminutos – em geral parênquimas e fragmentos de fibras) e os elementos de vaso são os constituintes mais abundantes depois das fibras. Mesmo assim, suas proporções são muito inferiores às das fibras. Essas últimas são dominantes nas polpas, tendo sua proporção em peso variando de 88 a 95%.

Foram desenvolvidos inúmeros índices para os elementos anatômicos da madeira para avaliar seu potencial papeleiro. Foram também desenvolvidas muitas medições de qualidade para monitorar a qualidade das polpas. Algumas dessas propriedades são vitais, fundamentais para a boa performance da polpa na máquina de papel e para a boa qualidade dos produtos com ela fabricados. Como são muitos indicadores de qualidade e por serem baseados em princípios muito parecidos, muitos deles acabam por mostrarem correlações muito significativas entre si. Portanto, definitivamente não há necessidade de se medir tanta coisa, a não ser que se queira realizar uma tese acadêmica e se necessitem de dados para recheá-la de considerandos e de argumentações científicas.

Deve-se levar em conta ainda que cada tipo de papel tem uma demanda de qualidade. As máquinas que fabricam esse papel também... por exemplo, para o fabricante de revistas de altíssima qualidade, o brilho superficial das folhas impressas é a característica mais importância. Para o fabricante de papéis decorativos, a capacidade da folha ser penetrada pelas resinas é vital. Já para o fabricante de papel "tissue" – lenços faciais – a suavidade e a maciez ao tato são críticas. Ou seja, "não existe uma propriedade mais importante que seja válida para todos os papéis". Existem propriedades típicas para cada produto e muitas vezes elas são ligeiramente diferentes para os diferentes fabricantes do mesmo produto. Isso porque eles podem ter fábricas e máquinas de diferentes idades tecnológicas e as especificações variam conforme as restrições encontradas na fabricação, lembram-se disso?

É importante que os técnicos conheçam bem as relações entre as propriedades do papel final com algumas características vitais das fibras ou polpas, quer seja da suspensão de fibras ou da folha úmida ou seca. A partir disso, pode-se inclusive estabelecerem-se relações com as próprias qualidades das madeiras que alimentam as fábricas de celulose. Com isso, a tecnologia desenvolvida permite engenheirar as árvores na sua genética e no manejo das florestas plantadas para se alcançar as qualidades melhores para cada tipo de produto ou processo de fabricação. A melhor forma de se fazer isso é conhecer quais as características que podem e devem ser engenheiradas. Elas devem ser vitais para os processos de celulose e papel e mostrar herdabilidade genética.

Esse nosso capítulo do **Eucalyptus Online Book** mostrará a vocês uma visão holística da qualidade da madeira e polpas, como já mencionamos. Se quiserem uma visão mais detalhada das características vitais das fibras de celulose dos eucaliptos para se fabricar papéis, visitem o que já escrevemos como capítulo 03: "As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel", no seguinte endereço: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf.

Nesse presente capítulo, nosso objetivo é mostrar as relações floresta/madeira/fibras/papéis e quais as características que podem ou devem entrar em programas de melhoramento florestal. As que apresentarei a vocês são aquelas que devem ser entendidas por todos os atores da rede de produção do papel, desde as florestas plantadas até os fabricantes e usuários do papel. Por isso amigos florestais e amigos fabricantes de celulose e de papel, muita atenção a partir de agora. Tudo o que estarei lhes contando considero de muita relevância para permitir uma otimização mais eficiente dessa rede de valor, ou da "cadeia produtiva" como um todo.

As avaliações das aptidões papeleiras das fibras celulósicas e das madeiras são muito estudadas e têm gerado milhares de trabalhos nas literaturas técnica e científica. Isso é encontrado por todo o mundo. Com as

fibras e com as madeiras dos eucaliptos nem se fala. São definitivamente abundantes. Quem quiser aprender muito mesmo sobre esse tema, basta dar uma navegada na web ou acessar os trabalhos que referenciai para vocês na seção de referências de literatura e sugestões para leitura, tanto nesse capítulo 14, como no capítulo 03.

Procurarei agora lhes apresentar o que considero mais relevante avaliar e o porque disso. Da mesma forma, tentarei explicar a ação de cada uma das características vitais das fibras e madeiras sobre as propriedades vitais dos papéis fabricados com polpas kraft de eucaliptos. Também farei o caminho inverso, em como as propriedades dos papéis e polpas celulósicas dependem de algumas características vitais das madeiras. Isso tanto para os produtos finais, como para desempenho de máquinas.

Lembrem-se ainda que as propriedades da folha de papel são afetadas pelas características das polpas e pelas operações da fábrica de papel (refinação, formação, turbilhonamento na caixa de entrada, drenagem na mesa plana, prensagem, curva de secagem, etc.). A estrutura da folha, o “network” fibroso, a sua consolidação e estabilidade, a qualidade do papel e a sua performance no cliente fazem parte desse processo. Algumas propriedades da madeira do eucalipto são tão importantes que impactam na conversão da madeira a celulose, na qualidade dessa celulose, nas operações e na qualidade do papel, e finalmente, no desempenho desse papel nos usuários do papel. É o caso por exemplo do comprimento e largura das fibras e a espessura da parede celular. Afortunadamente, essas características fibrosas acabam sendo expressadas por uma medição simples que é a população fibrosa ou pela “coarseness das fibras”.

A seguir, apresentarei a vocês todas as características das polpas que chamarei de “características tecnológicas vitais das fibras celulósicas dos eucaliptos” e a elas dedicarei essa seção. Existem muitos indicadores para qualidades das polpas, demasiados até. Só lhes contarei o que considero vital. Como já lhes disse, muitas dessas propriedades vitais se relacionam com inúmeras outras características de importância. Por exemplo: a população fibrosa de uma polpa se relaciona maravilhosamente com: “coarseness”, comprimento de fibra, espessura da parede celular, fração parede, índice de Runkel, densidade básica da madeira, área superficial das fibras e fibrilas, absorção de água pelo papel, opacidade da folha, volume específico aparente, porosidade da folha, etc., etc., etc. Portanto, as características que lhes selecionei são aquelas que considero vitais para os eucaliptos, e que podem ser facilmente medidas por todos.

Portanto, aqui também temos por coincidência, uma relação de onze características vitais, da mesma forma que encontramos onze propriedades vitais nos papéis fabricados com polpas dos eucaliptos.

"As onze características vitais das fibras celulósicas dos eucaliptos para se fabricar papel"

São elas:

1. População fibrosa (milhões de fibras por grama seca de polpa) e a propriedade imediata "coarseness das fibras" (mg/100 metros);
2. Fração parede (relacionada à colapsabilidade das fibras);
3. Comprimento da fibra (expresso não pela média aritmética, mas pelo valor ponderado em relação ao comprimento ou ao peso);
4. Teor de hemiceluloses (expresso como teor de pentosanas ou como solubilidade da polpa em solução de soda cáustica a 5% a 20°C);
5. Teor de finos (medido pelo vaso dinâmico de drenagem, por favor);
6. População e dimensões dos elementos de vaso;
7. Resistência intrínseca das fibras (expresso pelo ensaio Zero Span, ou pela resistência ao rasgo a um baixo nível de refinação e a um valor fixo de volume específico aparente)
8. Capacidade de ligação entre fibras (expressa pela resistência à tração a um nível baixo de refinação e a um valor fixo de volume específico aparente)
9. IRA – Índice de Retenção de Água (relacionado à capacidade de hidratação e de inchamento das fibras), também conhecido como WRV – "Water Retention Value"
10. RFU - Resistência da Folha Úmida (relacionado à eficiência operacional da máquina de papel), também conhecido como WWS – "Wet Web Strength"
11. Deformações das fibras (expressas como "curl", "kinks", etc.)

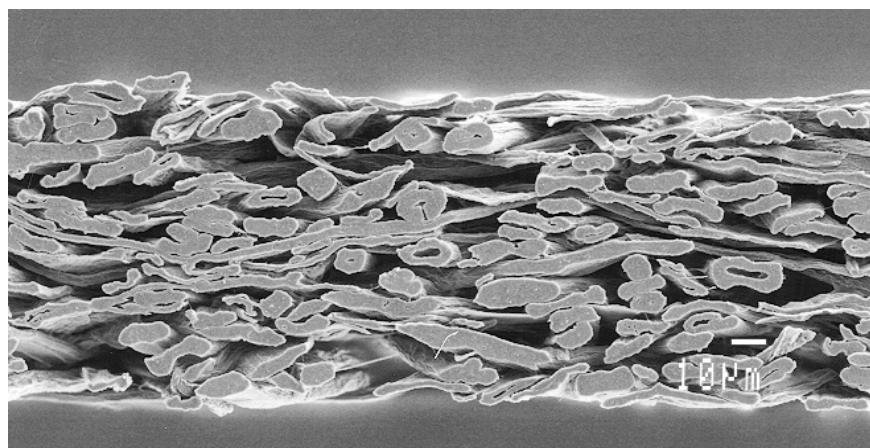
Essas onze características vitais das fibras celulósicas se relacionam muitíssimo bem com todas aquelas onze propriedades desejadas nos papéis feitos com polpas de eucaliptos, tais como: formação, volume específico aparente, porosidade, opacidade, maciez, suavidade ao tato, capacidade de absorção de água, lisura, estabilidade dimensional, resistências das folhas seca e úmida, etc.

Uma extensa revisão sobre essas relações está apresentada no capítulo 03 do **Eucalyptus Online Book** como já mencionado, uma boa referência para os leitores em inglês e em português.

Em minha opinião, essas duas listas de onze propriedades e características vitais (papel e polpas celulósicas) são fundamentais para todos os principais atores da rede produtiva do papel: melhoristas florestais, técnicos da área de celulose e de papel. Elas são na verdade os alicerces para o desempenho operacional e da produtividade das fábricas de papel e para a qualidade das celuloses para se produzir esses mesmos papéis. Mas

não se esqueçam, não se fixem apenas em valores médios de cada uma delas, mas também e principalmente, em suas variabilidades e amplitudes.

Vamos então colocar algumas considerações sobre cada uma delas:



1. População fibrosa (milhões de fibras por grama seca de polpa) e a propriedade imediata “coarseness das fibras” (mg/100 metros)

A população fibrosa é medida pelo número de fibras acima de um comprimento mínimo (em geral 0,10 a 0,25 mm) contadas por grama de polpa absolutamente seca. Os valores abaixo desses limites são considerados “finos” e não como fibras.

Já a “coarseness” pode ser definida como o peso total de uma linha de fibras (colocadas uma a seguir às outras) de 100 metros de comprimento.

Essas propriedades dependem do comprimento individual de cada fibra, da espessura da parede celular, do diâmetro da fibra, e portanto relaciona-se ao peso médio de cada fibra.

Em geral, para fibras de comprimentos parecidos, a relação “coarseness”/população fibrosa é direta e negativa. Entretanto, quando o

comprimento de fibras varia entre as amostras, esse tipo de linearidade pode-se perder ou alterar ligeiramente.

Essas duas propriedades combinadas talvez sejam algumas das mais vitais dentre as que dispomos. São facilímas de serem medidas. Permitem antecipar-se a mudanças de qualidade da madeira e de desempenho das polpas de mercado. 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.).

O grande risco que corremos é não saber usar essas maravilhosas características vitais como ferramentas no melhoramento de nossa operação e qualidade. Quando esquecemos que devemos nos concentrar a entender as anormalidades e não apenas os valores médios diários, cometemos o maior dos pecados e nada conseguimos enxergar. Isso porque corremos o risco de ver apenas valores parecidos, dentro de uma faixa pequena de variação de valores médios. Até mesmo esquecemos que essas características se alteram devido ao próprio processo de produção (são afetadas pela picagem da madeira, pela refinação da polpa, etc.). Como tudo “parece parecido”, acabamos não vendo utilidade para os números, uma lástima.

“Coarseness” e população fibrosa são as características vitais que mais respondem às mudanças na qualidade das madeiras dos eucaliptos. Por essa razão, sempre que notarem uma alteração nos padrões de comportamento industrial da madeira (na fábrica de polpa) ou da celulose (na fábrica de papel), é interessante se avaliar seus valores e sua variabilidade.

Como a refinação afeta a população fibrosa pela redução do comprimento das fibras, esse indicador serve também para se acompanhar o que está acontecendo no refino da massa de celulose. Mais uma vez, observem também as diversas frações de comprimento de fibra que a análise vai revelar, as variações na espessura da parede, etc. Tudo isso é fornecido pelos medidores de fibras ao mesmo tempo que avaliam a população fibrosa e “coarseness”.

2. Fração parede (relacionada à colapsabilidade das fibras)

Fração parede é a relação percentual entre a espessura da parede celular e o raio da fibra. Quanto maior o seu valor, maior a rigidez e a resistência ao colapso da fibra. Fibras com altas proporções de paredes são mais pesadas, portanto, a população fibrosa será menor. São fibras que drenam e deságua muito bem na máquina de papel, mas a capacidade de ligação é menor (menos pontos de contato). Por isso, é uma característica interessante de se associar ao teor de hemiceluloses e ao teor de finos, que

promovem contatos e ajudam a ligação das fibras. Um balanço ideal pode acontecer, como é aquele que ocorre com muitas das polpas de *Eucalyptus globulus* (mas nem todas). Essa espécie possui fibras celulósicas mais pesadas (menor população fibrosa), paredes mais espessas, mas maior teor de hemiceluloses. Por essa razão é especialmente amada para muitos usos na indústria do papel.

3. Comprimento da fibra (expresso não pela média aritmética, mas pelo valor ponderado em relação ao comprimento ou ao peso)

Apesar das fibras de eucaliptos serem pequenas, elas apresentam uma certa variação em relação à média. É preciso conhecer então como é essa distribuição por faixas de comprimento de fibras. Importa não apenas conhecer o comprimento médio, mas as freqüências de fibras em comprimentos tais como: 0,0 a 0,25 mm (finos); 0,25 a 0,50 mm; 0,50 a 0,75 mm; 0,75 a 1,00 mm; 1,0 a 1,25 mm, por exemplo.

O conhecimento dessas variações permite melhor entendimento da população fibrosa, bem como possibilita entender melhor as participações dos finos nas polpas. Essa característica é também vital para se controlar a refinação da polpa.

4. Teor de hemiceluloses (expresso como teor de pentosanas ou como solubilidade da polpa em solução de soda cáustica a 5% a 20°C)

Definitivamente, uma das mais vitais das características das polpas e das madeiras dos eucaliptos. Isso porque seu teor controla ou interfere em uma série de desempenhos operacionais e qualitativos na fabricação da celulose e do papel. Teor alto de hemiceluloses pode ser bom ou mau, ou mesmo indiferente. Tudo vai depender do tipo de papel sendo fabricado, das relações com outras propriedades vitais e das restrições do processo de fabricação.

As hemiceluloses não apenas ajudam no refino da polpa, mas elas interferem em características tais como: capacidade de ligação entre fibras, hidroscopicidade e inchamento, cargas iônicas e grupos aniónicos (carboxilas), IRA – Índice de Retenção de Água, RFU – Resistência da Folha Úmida, etc. Podem facilitar ou prejudicar a drenabilidade, desaguamento e secagem da folha, podem acelerar a “hornificação”, etc., etc.

Conhecer bem as hemiceluloses, sua constituição, cristalinidade, cargas iônicas livres, etc. é muito salutar para os papeleiros, algo a se pesquisar mais no setor.

As hemiceluloses e os seus recentemente descobertos derivados (ácidos hexenurônicos) são grandes contribuidores de cargas aniônicas nas fibras. Esses grupos carboxílicos são formados pela degradação das holoceluloses, ocorrendo isso mais facilmente com as hemiceluloses. Esses grupos também aumentam muito em teor nos estágios iniciais oxidantes do branqueamento, mas conforme os estágios ácidos e alcalinos vão fazendo remoção de ácidos hexenurônicos e de algumas hemiceluloses superficiais das paredes das fibras, o teor de carboxilas diminui significativamente nas polpas ao final do branqueamento. Existe ainda uma relação entre a degradação das cadeias de carboidratos das fibras e o teor de grupos aniônicos. Existem cargas aniônicas tanto nas superfícies das paredes das fibras, como em seu interior.

Hemiceluloses são também importantes para os melhoristas florestais e para os fabricantes de celulose. Muitas vezes os objetivos são opostos: algumas vezes o objetivo é se ter altos teores de hemiceluloses; outras vezes, baixos. A gestão das hemiceluloses também impacta rendimentos, afinal, elas estão no peso das polpas e dos papéis. E esses produtos são vendidos base seus pesos.

A gestão das hemiceluloses permite diferenciar polpas, ganhar ou perder rendimentos de produção, melhorar ou piorar diversas propriedades das folhas de papel, etc., etc.

Por tudo isso, surpreendente como as empresas de fabricação de celulose e de papel se preocupam tão pouco com as hemiceluloses. São escassas as empresas que monitoram o teor de hemiceluloses, mesmo que seja por testes empíricos e indiretos como a solubilidade da polpa em soda cáustica a 5% ou 10%.

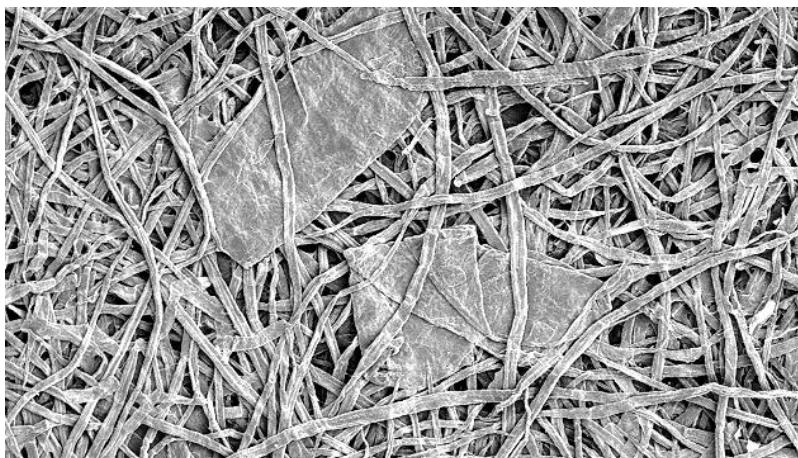
Os teores de hemiceluloses nas polpas dependem fundamentalmente do teor de hemiceluloses nas madeiras e na capacidade de se retê-las, removê-las ou modificá-las ao longo do processo industrial de produção de celulose.

5. Teor de finos (medido pelo vaso dinâmico de drenagem, por favor)

Os finos, como já vimos, englobam células de parênquima e fragmentos pequenos de fibras e de elementos de vaso. Quanto maior o teor de finos, mais difícil se torna a drenabilidade, o desaguamento e a secagem na máquina de papel. Os finos colaboram como poucos nos processos de ligação entre fibras. Caso os finos sejam removidos da polpa, ela muda totalmente suas propriedades. Aumentará substancialmente o volume específico aparente, a porosidade, a absorção de água. Opostamente, as resistências físico-mecânicas das folhas cairão a valores baixíssimos, todas elas.

Não apenas o teor de finos são importantes, mas de que eles são constituídos. Estamos falando de células de parênquima? Ou de fibrilas? Ou de fibras muito quebradas? O que estaria causando isso? A picagem da madeira? A presença de casca junto à madeira? Um excesso de refinação? Ou discos inadequados na refinação? Em função disso tudo e da importância dos finos, dedicarei em breve um capítulo a eles no **Eucalyptus Online Book**.

Aqui me cai uma dúvida angustiante: se finos são tão importantes no desempenho papeleiro das polpas, porque praticamente poucas empresas de celulose se atentam para eles - para medi-los, entendê-los e gerenciá-los? O máximo que os técnicos fazem é dar uma olhada nos resultados mostrados pelos analisadores automáticos de fibras, em geral calculados com base em contagens e não em determinações melhores como as que os vasos dinâmicos de drenagem executam, com conceitos mais próximos aos que acontecem nas máquinas de papel. Os valores de finos medidos pelos vasos dinâmicos de drenagem permitem antever comportamento das polpas na refinação, na mesa plana, na drenabilidade e até mesmo nas recirculações da água branca.



Superfície de folha de papel mostrando fibras e 2 elementos de vaso

6. População e dimensões dos elementos de vaso

Dediquei todo um capítulo já publicado acerca dos elementos de vaso e seus efeitos nas utilizações papeleiras dos eucaliptos. Leiam, caso se interessem, "Elementos de vaso e celuloses de eucalipto", disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf.

Vasos grandes e numerosos são indesejados na fabricação dos papéis de impressão, em especial aqueles sem revestimento e apenas colados superficialmente. Esses elementos sujam as máquinas impressoras, pois são

arrancados da superfície das folhas de papel. Além disso, estragam a qualidade da impressão, deixando marcas conhecidas por "vessel picks". Para combatê-los, o papeleiro necessita refinação especial e colagem superficial adequada e mais intensa. Por essa razão, as espécies de *Eucalyptus* que possuem elementos de vasos menores e menos freqüentes, são as preferidas. Número de elementos de vaso por grama de polpa seca (população de elementos de vaso) e dimensões dos vasos são, portanto, características vitais das polpas de eucaliptos para a fabricação de papéis de impressão. Eles já não causam problemas na qualidade de uso de papéis "tissue", por exemplo. Exceto que podem causar mais "pó" nas áreas de conversão desse tipo de papel, que demanda muito pouca refinação na massa.

Procurando colocar população de vasos e suas dimensões em um único índice, sugiro se calcular o volume de vasos existente por grama de polpa seca (Índice de Vasos). Isso poderia ser calculado com base na seguinte fórmula:

Volume de vasos/grama polpa seca = População de vasos (Número de vasos por grama) x Volume médio dos elementos de vaso

...sendo que esse volume pode ser calculado ou com base no valor aritmético médio do comprimento e diâmetro dos vasos (menos correto) ou nesses mesmos valores calculados ponderadamente dentro de determinadas classes de freqüência para essas duas dimensões (mais correto).

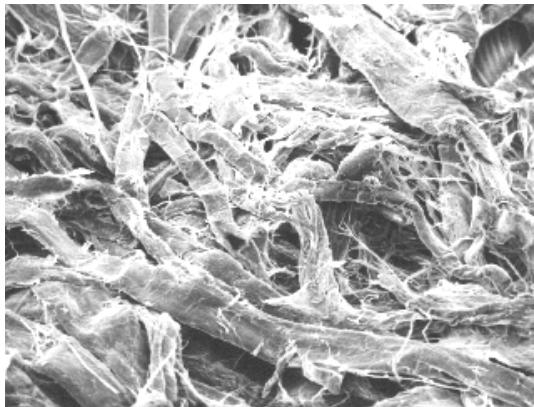
7. Resistência intrínseca das fibras (expresso pelo ensaio Zero Span, ou pela resistência ao rasgo a um baixo nível de refinação e a um valor fixo de volume específico aparente)



Em fibras tão curtas como as dos eucaliptos, fica difícil a medição da resistência individual das mesmas utilizando-se dinamômetros. Por isso, temos que nos basear em medições indiretas. Uma das mais utilizadas é a resistência à tração Zero Span da folha de papel ou de celulose.

Para os que não possuem esse equipamento de medição, há sempre a chance de se estimar a mesma pelo ensaio de resistência ao rasgo, adotando-se um nível bem inicial de refinação e expressando-se o resultado a um nível fixo de volume específico aparente. Sugiro que seja $1,8 \text{ g/cm}^3$ para folhas preparadas de acordo com a metodologia TAPPI de formação de folhas de testes.

8. Capacidade de ligação entre fibras (expressa pela resistência à tração a um nível baixo de refinação e a um valor fixo de volume específico aparente)



A ligação entre fibras é vital para o desenvolvimento de resistências na folha de papel, quer ela esteja úmida ou seca. Entretanto, excesso de ligação é prejudicial para certos tipos de papel, pois ele fica mais denso e compactado. Perdem-se propriedades importantes, tais como: porosidade, opacidade, estabilidade dimensional, volume específico aparente, maciez, etc.

A capacidade de ligação entre fibras está associada ao teor de hemiceluloses da polpa, à fração parede (colapsabilidade), ao teor de finos, à carga iônica, à degradação das cadeias de holocelulose e à população fibrosa.

Uma maneira fácil de se estimar indiretamente a ligação entre fibras é pela técnica da tração Zero Span, relacionando-se alguns dos índices tomados nas medições a seco e úmido e variando-se a distâncias do "span". Há os que medem a ligação entre fibras por atrito ou resistência da superfície das folhas, como é o caso do "Scott bonding tester" ou do teste de cera Dennison.

Caso não se disponham desses testes, sugiro determinar a resistência à tração de folhas secas de celulose a baixo nível de refinação e a um valor fixo de volume específico aparente, que pode também ser 1,8 g/cm³.

9. IRA – Índice de Retenção de Água (relacionado à capacidade de hidratação e de inchamento das fibras), também conhecido como WRV – “Water Retention Value”

A fabricação de celulose e papel consiste em uma série de etapas de inserção e remoção de água. Existe nesse processo água livre, que é facilmente removida pela ação da gravidade e que não causa problemas operacionais. Existe também moléculas de água retidas nas fibras por micro-capilaridade dentro das paredes celulares e dos lúmens das fibras e água retida por forças eletrostáticas devido à polaridade da água. Essa água que está ligada às fibras, que entumece e incha a polpa, que se adsorve às cadeias de celulose e de hemiceluloses, é exatamente esse tipo de água que prejudica a fabricação do papel. Afeta o desaguamento, a drenagem, a secagem e as qualidades de uso do papel.

Uma forma de se medir esse tipo de água é através do IRA – Índice de Retenção de Água. O IRA consiste na relação percentual entre a quantidade de água retida e a massa de polpa absolutamente seca, após se submeter a amostra de polpa à ação de uma força centrífuga durante um certo tempo. Em geral, a centrífuga opera entre 3.000 a 5.000 rpm, conforme a propósito dos testes. Imaginem que mesmo submetendo-se a manta de polpa úmida a essa enorme força G, temos ainda uma significativa quantidade de água que permanece aderida à polpa. Quanto mais água ficar retida, maior é o IRA.

O IRA se associa diretamente ao grau de refinação, à fibrilação, à área superficial de polpas (fibras e fibrilas), à carga iônica das fibras, ao teor de hemiceluloses e de ácidos hexenurônicos, à população fibrosa, ao grau de degradação da polpa, etc.

Definitivamente, o IRA é uma das características mais vitais para o fabricante de papel. Ele afeta demais o desempenho de suas máquinas. Ainda mais que certas polpas desenvolvem muito o IRA na refinação da massa. Quando o IRA da massa celulósica está elevado ela está retendo muita água, está “gorda” como dizem os papeleiros. A drenabilidade na mesa plana vai ser muito prejudicada. Com isso, o “espelho avança” e a umidade da folha úmida na saída da tela será maior. Para tentar combater isso, o papeleiro tenta alterar o grau de refinação e a intensidade do vácuo nas caixas de vácuo. Se ele não for bem sucedido, o excesso de água vai avançar para o setor de prensas úmidas. Como a água não se comprime, ela causará problemas de qualidade na folha úmida prensada, alguns conhecidos como:

esmagamento, fichas, dobras, estouros, furos, quebras, perda de cargas minerais, etc.

Os problemas se acumularão tanto na mesa plana que não drena bem, como na prensa que poderá não ter capacidade de remover essa quantidade adicional de água. Se a folha sair da prensa ainda muito úmida, o problema será transferido para a seção dos secadores. Ter-se-á que utilizar mais energia térmica (vapor) do que gravidade (mesa plana) e pressão (prensa úmida) para remoção dessa água. Muitas vezes, a secagem não dispõe de capacidade (número de secadores ou quantidade de vapor) para fazer esse trabalho extra. A solução que resta ao papeleiro será baixar a velocidade das máquinas. Imaginem como ele costuma reagir a isso!!!

Uma forma de se reduzir drasticamente o IRA é pela secagem da polpa. Por exemplo, folhas re-hidratadas de celulose de mercado possuem IRA muito mais baixos do que polpas nunca-secas ("never-dried") de fábricas integradas de papel. No casos dos eucaliptos, as polpas de mercado possuem IRA variando de 90 a 120 e as polpas nunca-secas, entre 150 a 190. Isso definitivamente dá uma enorme diferença no comportamento das fibras na massa de papel. Uma forma de se resolver parcialmente o problema em fábricas integradas, quando os valores de IRA se tornam demasiadamente problemáticos, consiste na dosagem mais regular de refugos secos. Outra alternativa, é usar alguma fração de polpa seca de mercado. A desagregação de polpa seca de mercado com menores valores de IRA favorece a drenagem e desaguamento da massa. No caso de uso de massa de refugo seco, por favor, não interpretem como ter que se gerar refugo para controlar o IRA. Seria uma tolice operacional enorme, mas o pior que existe gente achando que o refugo é bom para as máquinas, exatamente por causa dessa característica. Um problemão para a eficiência das fábricas, se esse conceito tolo vier a pegar.

Cabe ao usuário das polpas de eucalipto entender muito bem as relações do IRA das suas polpas com as diferentes operações e também com as demais características das fibras celulósicas. Só assim ele terá condições de otimizar seu processo, escapando da perversidade das polpas difíceis de drenar, desaguar e secar.

10. RFU - Resistência da Folha Úmida (relacionado à eficiência operacional da máquina de papel), também conhecido como WWS - "Wet Web Strength"

Trata-se de uma das mais vitais características de uma polpa de eucalipto. Curiosamente, quase ninguém a mede. Incrível isso! Porque não medem a RFU para otimizar suas máquinas? Por falta de equipamentos? A

medição é tão simples, que dá até para fazer um dinamômetro caseiro com uma bureta com água e duas garras leves de plástico para segurar a tira de folha úmida de papel.

A RFU se relaciona direta e fortemente com as necessidades fisiológicas dos papeleiros. Quando a folha úmida tem boa resistência, ela corre bem ao longo da máquina de papel, não se rompe, não se deforma, não causa problemas. Entretanto, essa RFU é fortemente afetada pela consistência da folha úmida. Quanto maior a consistência de uma mesma rede de fibras úmidas, melhor será a RFU, medida por exemplo pela resistência à tração de uma tira de folha úmida. Por isso, é importante para o papeleiro ter uma boa drenagem, um bom desaguamento, uma ótima prensagem da folha úmida de papel. Com isso, a folha fica mais resistente à quebra. Ela pode ser tracionada na máquina sem se romper.

Outras formas de se melhorar a resistência da folha úmida é pela refinação da massa ou pela incorporação de fibras longas na receita mágica do papeleiro. Considerando que a refinação da massa eleva o IRA e traz desvantagens à porosidade, volume específico aparente, estabilidade dimensional, etc. - a refinação maior pode não ser a solução ideal. Além disso, a massa mais refinada vai desaguar pior e a consistência da folha úmida pode diminuir e com isso a RFU. Uma seqüência perversa de coisas para piorar a vida do papeleiro.

É muito importante se ter a nível laboratorial um método adequado e prático para se medir a RFU a níveis constantes de consistência (30, 40 e 50% por exemplo). Esses valores fixos de consistência são difíceis de serem conseguidos na prática, por isso podemos nos valer de interpolações gráficas usando curvas relacionando RFU e consistência dos corpos de provas.

Definitivamente não dá para comparar valores de RFU obtidos com corpos de prova a diferentes consistências, quando o objetivo é se diferenciar e selecionar tipos de polpas ou tipos de preparo de massa.

11. Deformações das fibras (expressas como "curl", "kinks", etc.)



As modificações que as fibras sofrem devido ao seu trânsito pelos processos industriais (bombeamento, mistura dinâmica, prensagem, refinação) são importantes fatores a afetar seu desempenho na fabricação de papel. Essas deformações enfraquecem as fibras por afetarem as paredes, mas melhoram propriedades do papel como porosidade, volume específico aparente, maciez, etc. As deformações das fibras podem ser artificialmente criadas no processo, quando assim desejadas. Há equipamentos muito eficientes para isso, como os “shredders e as prensas desaguadoras. Para alguns papéis especiais, como papéis “tissue” de alta maciez, papéis filtros e papéis decorativos, as deformações nas fibras são formas de se dar mais qualidade à polpa celulósica.

As deformações nas fibras são medidas por alguns índices, tais como: índice de “curl”, latência , mudanças de direção das fibras (“kinks”), micro-fraturas e micro-fissuras, etc.



QUALIDADES TECNOLÓGICAS DESEJADAS NAS MADEIRAS DOS EUCALIPTOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT



As motivações do fabricante de celulose em relação à matéria-prima madeira são muito similares àquelas dos papeleiros em relação às fibras de celulose. Eles desejam uma madeira que não lhes cause problemas ou insônias. Querem operar suas fábricas com alta produtividade, alta eficiência operacional, com alto atingimento nas especificações de qualidade dos produtos e com mínimos custos de produção. Para atingir essas metas, a madeira deve ser a mais uniforme possível de forma a não causar impactos

relevantes no processo de polpação e nas metas qualitativas para o produto celulose.

Embora existam muitíssimos estudos e pesquisas sobre as características de qualidade das madeiras dos eucaliptos, a grande verdade é que ainda existem muitos pecados sendo cometidos nos programas de melhoramento florestal do setor com vistas ao desenvolvimento da qualidade da madeira para celulose kraft. O maior de todos, como vocês já me ouviram comentar, consiste no precário procedimento de amostragem e de repetições das análises para minimização dos erros nas decisões estatísticas. Isso quando se usam ferramentas e planejamentos estatísticos para as avaliações e tomadas de decisão.

Desde que a variabilidade existe (e ela não é pequena como mencionada na introdução desse capítulo), os tamanhos das amostras deveriam ser mais representativos das populações em avaliação. Pouquíssimos fazem pré-testes para definir o mais adequado tamanho da amostra. Adicionalmente a isso, a própria amostragem pode ser precária, caso se colham amostras apenas dos indivíduos de médio porte e não de todos os segmentos da população. Árvores de diâmetro a altura do peito similares ao médio do povoamento não são necessariamente árvores que representem toda a população para avaliar suas propriedades tais como: densidade básica, teor de lignina, teor de hemiceluloses, etc., etc. Definitivamente, tamanho e representatividade dessas amostragens precisam ser urgentemente melhorados, isso em muitas partes do mundo.

Outra recomendação que sempre faço seria em relação ao número de repetições para as análises – o número de vezes que uma determinação deve ser realizada para se ter um valor médio representativo. Na maioria das vezes, as avaliações são baseadas em médias de duas repetições apenas, não se colocando atenção sobre os valores individuais e tampouco sobre o desvio padrão (como falar em desvio padrão para casos como esses?). Dependendo da precisão desejada e do erro máximo que o melhorista florestal esteja disposto a cometer em suas decisões, esse número de repetições deveria ser bem maior.

Eu acredito sinceramente que existem muitos melhoramentos florestais de eucaliptos sendo realizados onde a única finalidade é se medir alguma coisa e se terem alguns dados para “encher as planilhas de números”. Com muita certeza esses valores levarão a erros nas decisões. O programa que parece charmoso e interessante pode deixar um legado de problemas para as próximas gerações de melhoristas e usuários das madeiras. Isso porque estará alicerçado em bases frágeis, para não dizer “podres”. Existem muitas chances de que o melhoramento florestal esteja aceitando como sendo bons alguns materiais genéticos que na verdade não o sejam (isso para algumas das propriedades tecnológicas das madeiras e fibras). Outras vezes, o melhorista estará descartando um material bom, por excesso de zelo, ou por falsas interpretações de suas análises. Entretanto, esse erro é menos relevante do que o anterior.

Até o presente momento, esses erros e o inadequado planejamento estatístico de muitos melhoramentos florestais estão sendo escondidos ou mascarados pelos fantásticos ganhos que a hibridação e clonagem das árvores têm oportunizado. Ao se compararem os resultados dos ensaios clonais com as antigas florestas plantadas obtidas de sementes melhoradas, tanto os técnicos, como os executivos florestais saem encantados com os ganhos auferidos. Todos acreditam que estejam performando maravilhosamente em suas tomadas de decisão. O problema maior começará a aparecer quando as decisões passarem a envolver as substituições de material clonal por outros mais adequados (para ganhos adicionais). Muitas das escolhas que foram baseadas em decisões e avaliações tecnológicas inadequadas, infelizmente só mostrarão sua cara alguns anos após, quando a madeira começar a ficar no ponto de ser enviada ao consumo industrial.

Em tempos passados, quando as florestas eram muito mais variáveis devido ao plantio de mudas de sementes, a chance de encontrar indivíduos com valores extremos para alguma das propriedades vitais era muito maior. Hoje, com o afunilamento da base genética devido à clonagem, as perspectivas de ganhos futuros já não são tão impressionantes, a menos que se condução e se desenvolva um programa paralelo baseado em cruzamentos, retrocruzamentos, recombinações através reprodução sexuada. Também nesse caso as decisões devem ser tomadas com base em dados, medições, amostragens e análises confiáveis.

Voltemos ao nosso fabricante de celulose agora. Ele está sempre a pedir madeira uniforme para sua fábrica. Ele não gosta de surpresas desagradáveis. Quando ele pede uniformidade, ele não está se referindo apenas a valores próximos de densidade básica da madeira. Ele inclui nesse pedido um grande número de parâmetros de qualidade da madeira que lhe são muito importantes na tecnologia de conversão da madeira a celulose kraft branqueada. Por exemplo, ele estará atento ao teor de casca presente na madeira, às dimensões e frações dos cavacos, ao nível de deterioração da madeira, à umidade da madeira, à presença de nós, de madeiras defeituosas (atacadas por doenças, pragas, madeira de tração, madeira queimada, etc.), etc. Seu objetivo é ter operações de cozimento e de branqueamento com a menor variabilidade possível, preferencialmente sem lhe dar pesadelos ou surpresas. A qualidade final de seu produto precisa ser a mais estável possível e dentro de limites aceitáveis de variação. As perdas de processo, as paradas de fábrica, os refugos de má qualidade, etc. – tudo isso precisa ser minimizado. Quando a padronização da qualidade da madeira entrando na fábrica está sendo buscada, o fabricante de celulose fica feliz: ele tem apenas que se preocupar em regular suas quantidades e fluxos para obter qualidade. Quando a qualidade da madeira varia, o fabricante de celulose toma algumas medidas para tentar restabelecer a uniformidade, nem que seja misturar “coisas diferentes” para ter um “mix” mais uniforme. Essa

uniformidade ele precisa para ter certeza de que as quantidades entrando na fábrica em termos de peso de madeira não estão variando demais. Aos seus digestores, onde ele tem que dosar os licores de cozinhar a madeira, ele precisa garantir o domínio sobre as quantidades de madeira alimentando-os. Com isso, o nosso fabricante de celulose acredita que estará uniformizando operações que dependem do digestor, tais como: área de preparação do licor branco, área de recuperação do licor preto, área do branqueamento, área de geração de químicos oxidantes ao branqueamento, etc. O que ele tenta fazer desesperadamente e em primeiro lugar é a "gestão da quantidade de madeira que alimenta os digestores". Os digestores são equipamentos alimentados base volume de cavacos e na maioria das vezes eles estão limitados em suas alimentações de cavacos e fluxos de licor. Isso porque as fábricas de celulose de eucalipto estão acostumadas a trabalhar no máximo ou acima de suas capacidades. Para evitar variações bruscas na performance operacional, o ideal é se trabalhar com densidades básicas das toras de madeira uniformes e com densidades a granel dos cavacos também parecidas. As performances e estabilidades operacionais são mais facilmente alcançadas dessa forma, mesmo que o fabricante de celulose esteja misturando madeiras de diferentes densidades básicas. Para ele, em um primeiro momento, o que é importante é uma densidade a granel dos cavacos a mais uniforme possível. Seu primeiro objetivo então é estabilizar o fluxo mássico de madeira entrando nos digestores. Com isso, ele consegue "estabilizar" o restante da fábrica, o que em verdade, não é tarefa fácil.

Garantida a alimentação uniforme, o fabricante de celulose passa a se preocupar com as maneiras de se reduzir a variabilidade na qualidade da madeira. Sua segunda meta é fazer a "gestão da variabilidade da madeira". Obtendo sucesso, ele diminuirá as consequentes variações em coisas muito importantes no processo, tais como: consumo de licor branco no cozimento, rendimento em celulose, teor de rejeitos, consumo específico de madeira, teor de sólidos secos totais gerados e enviados ao sistema de recuperação do licor preto, consumo de químicos no branqueamento, qualidade do produto final, proporção de produtos "off-grade", qualidade das operações, nível de "stress" dos funcionários, etc., etc.

As gestões das quantidades e fluxos mássicos e a gestão da variabilidade podem ser consideradas como requisitos básicos e fisiológicos para qualquer fábrica de celulose. Isso vale para fábricas integradas e para fábricas de celulose de mercado, em qualquer lugar do planeta. O fabricante de celulose só se interessará pela "gestão da diferenciação de produtos" se ela vier para lhe facilitar a vida e lhe melhorar as duas formas de gestão anteriores. Ou se ele tiver pleno domínio sobre essas gestões dos fluxos mássicos e das variabilidades. Ele quer adequação e conformidade em seus processos – isso está sempre lhe sendo cobrado pelos auditores de qualidade. Portanto, os fornecedores de madeira precisam entender muito

bem isso. No caso da diferenciação de produtos, podemos entender a disposição da empresa e dos operadores de máquinas em produzir na fábrica tipos diferenciados de produtos celulósicos, capazes de atender mercados diferenciados. Essa diferenciação pode estar ligada à qualidade da madeira (*madeira leve* e *madeira densa*); à espécie de *Eucalyptus* sendo utilizada (*E.urograndis*, *E.globulus*, *E.nitens*, etc.); às condições de processo (polpa ECF ou TCF, polpa seca em folhas ou em secador “flash dryer”); ; ou a condições mais recentemente introduzidas para diferenciação mercadológica (madeira certificada ou não certificada).

A diferenciação de produtos é mais facilmente alcançada quando a fábrica possui mais de uma linha de fibras. Isso porque a fábrica pode operar suas linhas de produção com madeiras e produtos diferentes. Isso permite inclusive que uma linha de produção possa absorver alguns problemas e limitações da outra linha. Assim fazendo, a fábrica escapa de ter transições de produtos, quando muda de um tipo de produto para outro.

Tudo isso que estou lhes contando é muito fácil de falar, mas muito difícil de se implementar. Com a silvicultura clonal em pleno desenvolvimento nos dias atuais, as chances de se garantir clones diferenciados para tipos diferenciados de celulose e papel são enormes. O que antes no passado se fazia variando espécies ou idades de árvores, hoje se consegue pela gestão dos clones. A maioria das empresas de celulose de mercado já possuem clones específicos para produção de celulose para papéis “tissue”, decorativos, impressão, base de revestimento, etc.

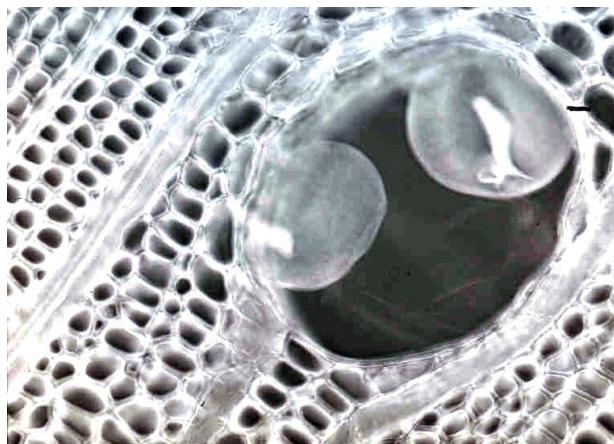
Para o sucesso dessa diferenciação, mais uma vez, é muito importante o bom diálogo entre as áreas florestais, de fabricação de celulose e o fabricante e usuário do papel, quer eles sejam internos ou externos. Em geral, é comum que surjam desentendimentos entre essas áreas e atores. Isso porque eles têm dificuldades em entender as limitações dos outros. Como consequência, poucos fabricantes de celulose de mercado conseguem oferecer produtos diferenciados para nichos de mercado. A maioria dos fabricantes de polpa gosta de produzir uma polpa única, até mesmo universal, que possa ser entregue a qualquer cliente em qualquer lugar do mundo. Só que essa polpa universal não existe, vocês já sabem disso.

Acontece que fabricar e vender um tipo único de polpa é muito mais fácil: maiores facilidades operacionais, ausência de transições, facilidades de logística e armazenamento, custos mais fáceis de apropriar, etc., etc. Por essas razões, a aversão que alguns fabricantes de celulose têm a novas exigências de qualidade dos mercados. Eles não gostam de alterar suas formulações, até porque isso demanda não apenas matérias-primas, processos e conhecimentos, mas também enormes controles, atenção e disposição. Como os mercados estão mais exigentes e a concorrência maior, algo precisará ser feito. Afinal, como o mundo está mudando rápido, aqueles que reagirem podem perder a vantagem competitiva ou seus postos de

trabalho. Em outros casos, quem sofrerá será a empresa, pois os tomadores de decisão são poderosos e não estão vendo que os clientes estão com novas máquinas, novos produtos e precisam de novas matérias-primas.

Tanto no caso de fábricas que produzem um único tipo de celulose de mercado, como no caso de fábricas que objetivam a diferenciação de produtos, é difícil se definir a qualidade da madeira com base em uma única propriedade. Também não existe uma única e fantástica qualidade de madeira que otimize toda a operação da fábrica e a qualidade do produto. Apesar da densidade básica da madeira ser uma das propriedades mais versáteis e utilizadas, existem muitas limitações para se tê-la como uma indicação universal de qualidade da madeira dos eucaliptos. Teremos em futuro próximo, um capítulo todo para debater isso. Entretanto, quero deixar claro apenas o seguinte: "madeiras de eucalipto de mesmos valores de densidades básicas, mas pertencentes a diferentes espécies de *Eucalyptus*, podem ter comportamentos tecnológicos completamente diferentes na conversão a celulose e na qualidade dos produtos resultantes". Por exemplo, madeiras de densidade básica 0,5 g/cm³ das espécies *Eucalyptus saligna*, *E.nitens*, *E.dunnii*, *E.urophylla*, *E.robusta* e *E.tereticornis* com muita certeza terão comportamentos operacionais e qualitativos diferenciados para fabricar celulose kraft branqueada. Por essa razão, quem controla qualidade da madeira com base apenas em densidade básica precisa no mínimo estar trabalhando com espécies de *Eucalyptus* similares em relação a essa propriedade. Se estiver com um "mix" muito variado de espécies, as decisões tomadas podem ser inadequadas. Mesmo em se tratando de clones, podemos ter variações qualitativas e de performances tecnológicas para níveis de densidade básica praticamente iguais. Isso porque o clone pode ter características que se assemelham mais à espécie paternal ou à espécie maternal. Algo como: alguns clones de *Eurograndis* podem ter madeiras parecidas à de *E.urophylla* e outros à de *E.grandis*, ficou claro?

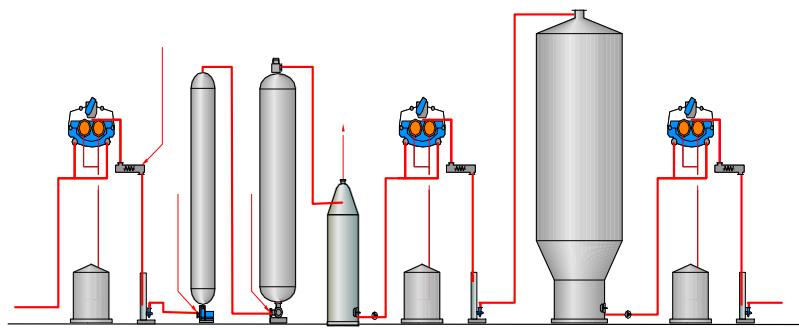
Outras vezes, a qualidade da madeira é definida pelo fabricante de celulose em função das limitações que ele possui em sua fábrica. Se ele, por exemplo, tiver dificuldades na impregnação dos cavacos, na reciclagem dos nós do digestor e na depuração da polpa, ele restringirá a entrada de madeiras mais densas e com mais alto teor de lignina. Já se ele tem limitações na alimentação do digestor e precisa aumentar a produção diária da fábrica, ele buscará madeiras mais densas, mas com menores teores de lignina.



Madeiras dos eucaliptos: fantásticas paisagens anatômicas escondidas por uma aparente uniformidade visual dos cavacos

As restrições operacionais que são mais comuns para afetar parâmetros de qualidade das madeiras dos eucaliptos são as seguintes:

- Capacidade da linha de picagem e classificação dos cavacos;
- Capacidade do digestor;
- Limitações nos fluxos de licor no digestor;
- Capacidade da linha de lavagem da polpa;
- Desenho e dimensionamento da linha de branqueamento;
- Capacidade da evaporação;
- Capacidade de queima da caldeira de recuperação;
- Capacidade do forno de cal e da caustificação;
- Capacidade da planta química geradora de dióxido de cloro;
- Capacidade de secagem da folha de celulose;
- Administração do nível de contaminantes na celulose ("pitch");
- Etc.



Como uma conclusão geral do que foi dito e apenas repetindo para consolidar conceitos: o tipo e a intensidade do gargalo operacional é que pode estar definindo a “qualidade ideal” da madeira para uma determinada linha de produção de celulose. Esse costuma ser o caso para fábricas em operação, já com sistemas de processo sobrecarregados. Para fábricas novas

"greenfield", a qualidade da madeira pode ser pré-definida e construída na floresta, conforme os objetivos das áreas de produção, tecnológica e comercial. Entretanto, essas especificações não durarão por muito tempo. Logo após o "arranque" da fábrica, a voracidade em aumentar a produção, a busca por recordes de produção, a usual desatenção com os programas de plantações florestais, logo conduzirão a situações de escassez de madeira e ao surgimento de alguns gargalos operacionais na fábrica de polpa. Consequentemente, novos parâmetros de qualidade de madeira surgirão. Aquilo que era um "mar de rosas", transforma-se em inúmeros pesadelos em noites mal dormidas. Bom apenas que o setor de celulose de eucalipto está em acelerado crescimento de produção e de consumo. Pior seria uma situação contrária: a madeira sempre excelente, mas a fábrica operando abaixo da capacidade nominal e os clientes satisfeitos, mas escassos.

As fábricas de celulose têm seus objetivos vitais muito conhecidos: produção e produtividade, eficiência e continuidade operacional, custo de produção, qualidade dos produtos e pouca demanda de capital de investimentos. Elas costumam ficar ensanduichadas entre a área florestal e o cliente que fabrica papel. Isso tanto nas fábricas integradas ou não-integradas. Ambos os lados do sanduíche precisam conhecer as limitações da fábrica de celulose e ajudá-la a fabricar uma boa limonada de alguns limões, às vezes amargos. O fabricante de celulose é apaixonado por seu processo industrial, ama de verdade isso tudo. Por isso, ao invés de criticar suas exigências, melhor se integrar a ele para otimizar seu processo.

Vou tomar agora tomar a liberdade de apresentar a vocês as igualmente onze características vitais da qualidade das madeiras do eucalipto para o fabricante de celulose.

"As onze características vitais das madeiras dos eucaliptos para se fabricar celulose kraft branqueada"

Elas são as seguintes:

1. Limpeza, sanidade e umidade da madeira;
2. Dimensões dos cavacos;
3. Densidade básica da madeira;
4. Consumo específico de álcali efetivo ou ativo no cozimento;
5. Rendimento em produção de celulose;
6. Consumo específico de madeira por tonelada de celulose;
7. Sólidos secos gerados para a linha de recuperação de licor preto;
8. Teor e qualidade da lignina da madeira;

9. Teor de hemiceluloses;
10. Teor e constituintes dos extractivos da madeira;
11. Teor e constituintes das cinzas da madeira.

Sobre cada uma delas faremos algumas considerações que considero importantes.



Os cavacos constituem-se na forma como a madeira entra na fabricação de celulose: foco neles e não só nas árvores e toras

1. Limpeza, sanidade e umidade da madeira

Esse é um item composto que depende da árvore e das operações florestais e fabris.

A madeira deve ser a mais isenta possível de contaminantes como casca, folhas, galhos, terra. Ela deve ter ainda mínimas ocorrências de regiões defeituosas como inserção de nós, madeira de tração, etc. Não adianta nada o melhorista genético e o produtor florestal se esforçarem para obtenção da “árvore ideal” e ela ser estragada nas operações de colheita e transporte.

Colhida a floresta, as toras em geral são deixadas para um rápido processo de perda de umidade para facilitar e baratear o manuseio e transporte. O cuidado a se ter é evitar que toras e cavacos acabem esquecidos ou ocultos nos processos e percam muito da qualidade por apodrecimento. Não se surpreendam, essa é uma situação até que bem comum nas fábricas e florestas.

O fabricante de celulose kraft sabe também que algumas de suas operações dependem do nível de umidade das madeiras: a impregnação dos cavacos, a penetração e difusão dos licor de cozimento para a individualização das fibras, por exemplo. Controlar a umidade das toras e dos cavacos é muito importante, apesar de não ser vital em caso de fábricas dispondo de eficientes vasos de impregnação dos cavacos.

2. Dimensões dos cavacos

As linhas de picagem devem ser adequadas ao tipo de qualidade de madeira, caso contrário estragarão todos os ganhos obtidos na gestão da qualidade dessas árvores e madeiras. Mesmo madeiras tão densas como as de *Corymbia citriodora* podem ser convertidas em matérias-primas de excelente qualidade para produção de celulose, caso as dimensões dos cavacos sejam menores e adequadas ao processo em questão.

3. Densidade básica da madeira

Para o fabricante de celulose, a uniformidade e a média da densidade básica da madeira são muito importantes. Com isso, ele controla melhor a gestão dos fluxos mássicos e da variabilidade de seu processo. No caso de fábricas que possuam um desenho que permita usar madeiras de baixa densidade, o fabricante de celulose pode mostrar preferência por elas, já que a impregnação é facilitada e o cozimento mais rápido. Entretanto, se o digestor está restrito em produção, por incapacidade de alimentar mais cavacos, o fabricante de celulose ganhará produção alimentando madeiras de mais alta densidade básica, resta apenas encontrar os níveis adequados a ele. De novo, as restrições podem definir a qualidade ideal da madeira. Resolvida a restrição, a qualidade ideal se altera. Tão simples isso, mas poucos conseguem visualizar essas interações. Ou entendê-las!

As mudanças nas exigências de qualidade da madeira costumam deixar aborrecidos os melhoristas florestais. Isso porque a visão do fabricante de celulose é o dia de hoje e do melhorista florestal é o longo prazo. As formas de agir e os comportamentos e argumentações variam muito em função disso. É principalmente devido aos gargalos e restrições que algumas fábricas de celulose preferem usar madeira de baixa ($0,40$ a $0,45$ g/cm 3), média ($0,48$ a $0,52$ g/cm 3) ou alta ($0,52$ a $0,60$ g/cm 3) densidade básica de madeira. Essas restrições podem ser das fábricas de celulose, imposições dos clientes ou mesmo das áreas florestais. É por essa razão que diferentes fornecedores de celulose de mercado acabam tendo polpas que não são similares em performance ou em qualidade.

4. Consumo específico de álcali efetivo ou ativo no cozimento

Essa propriedade da madeira é vital para o fabricante de celulose. Ela é resultado de diversas outras características da madeira tais como: teor de lignina, relação siringil/guaiacil da lignina, teor de extractivos, teor de hemiceluloses, além de depender da espécie de *Eucalyptus* e da idade da árvore. Quanto menos licor branco a madeira demandar para atingir um grau desejado de número kappa, mais feliz se torna o fabricante de celulose. Nos dias atuais, com as modificações para cozimentos a baixas temperaturas e por mais longos tempos, as demandas de álcali para deslignificar as madeiras de eucalipto aumentaram. Portanto, em algumas situações, as fábricas operam nos limites em seus fornos de cal e na caustificação. Por isso, toda atenção nas madeiras que apresentam baixo consumo de álcali efetivo ou ativo. Elas serão muito bem-vindas nos abastecimentos das fábricas.

5. Rendimento em produção de celulose

Também uma característica tecnológica vital. Quanto maior a quantidade de celulose que se conseguir produzir a partir de um mesmo peso seco de madeira, melhor é a qualidade da madeira nesse quesito. Essa propriedade é muito dependente do teor e tipo de lignina, extractivos e holocelulose das madeiras. As fábricas de celulose são construídas primariamente para produzirem celulose e não licor preto, portanto, quanto mais celulose uma madeira conseguir gerar por um mesmo processo, melhor. É fundamental ainda se definir quais as condições ideais de processamento industrial para ela. Algumas madeiras demandam certas condições de cozimento, enquanto outras madeiras exigem condições diferentes para atingimento do mesmo número kappa.

6. Consumo específico de madeira por tonelada de celulose produzida

Essa propriedade vital é o resultante de muitas características interconectadas, tanto da madeira, como das exigências da mesma no processo de sua conversão a celulose: densidade básica da madeira, rendimento em celulose, teor e tipo de lignina, teor de hemiceluloses, grau de deterioração da madeira, perdas de fibras no processo, qualidade dos cavacos, contaminações dos cavacos com casca, etc. Em geral ele é expresso em

metros cúbicos de madeira por tonelada de celulose seca ao ar. O consumo específico de madeira por tonelada de celulose (não branqueada ou branqueada, cada fábrica prefere uma maneira de se determinar isso) representa uma das mais importantes parcelas do custo de fabricação da celulose kraft. Esse custo é significativo, mesmo para os produtores de baixo custo, devido à madeira barata. Por essa razão, é um dos indicadores diários de avaliação de qualidade dos processos industriais. É também um parâmetro de seleção de árvores para melhoramento genético da madeira para fins tecnológicos. Quaisquer das características da madeira que possam impactar em consumo específico torna-se igualmente importante para os fabricantes de celulose.

7. Sólidos secos gerados para a linha de recuperação de licor preto

Essa propriedade passa a ser vital nas fábricas que apresentam como gargalo operacional a capacidade de seu sistema de recuperação de licor preto. Ela depende do consumo de licor de cozimento (álcali ativo ou efetivo), do rendimento em celulose, do número kappa residual da polpa, dos fluxos de recirculação de filtrados, da deslignificação com oxigênio, et., etc. Em fábricas com capacidade excedente no sistema de evaporação e queima do licor preto, é uma propriedade sequer medida. Em outras, com sérias limitações nesses sistemas, torna-se no sonho diário de horror ou de felicidade dos operadores e gestores da linha de fibras e da área fornecedora de madeiras ao processo. Por isso, muita gente não entende porque as exigências por qualidade de madeira variam tanto de fábrica a fábrica. Nada mais natural que variem, não é mesmo?



Fonte: Caldeira de recuperação Arauco Nueva Aldea

8. Teor e qualidade da lignina da madeira

A lignina é abundante nas madeiras de *Eucalyptus*, especialmente naqueles sendo plantados no Brasil. 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. Temos encontrado teores de lignina Klason total que variam entre 20 a 30%, ou seja, uma ampla faixa de variação para as espécies comerciais de *Eucalyptus*. O teor de lignina afeta diretamente a conversão da madeira a celulose kraft, pois impacta no consumo de álcali, no rendimento em celulose e na geração de sólidos secos ao sistema de recuperação do licor. Existem espécies com reconhecidos teores menores de lignina, e as madeiras que produzem são muito bem aceitas pelas fábricas de celulose. Destacam-se *E.globulus*, *E.dunnii*, *E.maideni*. Já outras espécies como *E.urophylla*, *E.grandis*, *E.tereticornis*, *E.saligna*, apresentam teores de lignina maiores, acima de 25% em suas madeiras. O híbrido *E.urograndis* também é bastante rico em lignina na madeira. Entender o processo de significação dessas espécies tem sido um ponto de muitas pesquisas. A significação aponta os caminhos mais corretos para uso das madeiras de eucalipto para energia ou para produção de celulose e derivados.

Nos anos mais recentes, os melhoristas florestais têm dado ênfase nos estudos da lignina das madeiras dos eucaliptos. A lignina é característica vital tanto na seleção de indivíduos superiores para hibridação e clonagem.

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.

Existe uma longa trilha para o melhoramento florestal percorrer nesse sentido. Existem tantas disponibilidades de genes naturais nos eucaliptos que a hibridação e clonagem pode muito bem impactar muito positivamente o teor de lignina, sem necessidade de modificações genéticas por engenharia e transgenia. Mas essas técnicas também podem ser benéficas nesse particular, já que o teor e o tipo de lignina apresentam boas herdabilidades.

Enquanto em Portugal se ama de paixão a pureza e a qualidade da madeira do *E.globulus* pelos baixos teores de lignina que apresenta, no Brasil tem-se buscado introduzir genes de *E.globulus* nos programas de melhoramento através de produção controlada de híbridos. Em Portugal, as finalidades do melhoramento florestal se concentram em aumentar a produtividade das florestas, no Brasil a meta é melhorar a qualidade da madeira das espécies e clones sendo plantados. Ou seja, Portugal dispõe de boa qualidade de madeira com *E.globulus*, e o Brasil – produtividade

florestal. Apenas lembrando, há situações em que *E.globulus* não produz a madeira ideal, já que não existe uma madeira ideal para todos os produtos papeleiros, lembram-se disso?

No Brasil, um dos indicadores florestais muito apreciados é a produtividade da floresta plantada expressa em toneladas de celulose kraft branca produzida equivalentemente por hectare por ano. Esse número varia entre 9 a 16 adt/ha.ano. Enquanto isso, em Portugal, esses valores se situam entre 6 a 8. Mesmo com baixos incrementos volumétricos, a espécie *E.globulus* se destaca em equivalente de celulose produzida por hectare.ano, devido às suas características favoráveis da madeira, tais como: baixo teor de lignina, alta relação S/G (siringil/guaiacil) na lignina, alta densidade básica, alto teor de hemiceluloses.

Falando na relação entre S/G, há atualmente forte ênfase em seu estudo. Investiga-se muito as bases moleculares da formação da lignina e os fatores ambientais que levam a esses valores. A lignina é um polímero altamente complexo, difícil de ser avaliado. Ela é hidrofóbica e seus derivados atrapalham a branqueabilidade das polpas. Por essa razão, devem ser removidos para produção de celuloses branqueadas. Nas madeiras de eucaliptos, os grupamentos dominantes são siringil e guaiacil. Quanto maior a proporção de guaiacil, mais condensada está a "molécula estrutural" de lignina. Essas situações desfavorecem a remoção de lignina pelos processos de polpação e de branqueamento. Já os fragmentos e os setores mais ricos em siringil são mais facilmente extraídos. Por essa razão, a busca até frenética pelos eucaliptos com altas relações S/G. Mesmo em faixas pequenas de variação, a relação S/G oferece vantagens na polpação. Madeiras de clones ou espécies de eucaliptos com relação S/G por volta de 3 - 3,5 são mais facilmente deslignificadas que outras com relação 2. Infelizmente o *Eucalyptus urophylla* apresenta valores baixos para essa relação, por volta de 2. Já o *Eucalyptus globulus* tem situações que essa relação atinge 4 a 6, uma beleza para cozinhar e branquear esse material. O *E.urophylla* tem sido a base dos programas de melhoramento florestal no Brasil, pois é uma espécie altamente tolerante ou resistente a doenças típicas de condições tropicais. Além disso, é muito plástico, podendo ser plantada (ou com seus híbridos) em todas as regiões do país, exceto aquelas onde o frio ou o déficit hídrico são muito intensos. Por isso, todo o esforço para a criação de híbridos entre *E.urophylla*, *E.grandis* e *E.globulus*. Esses possuem o potencial para produtividade volumétrica, densidade básica de madeira, resistência a condições adversas e boa conversão a celulose branqueada (pelo baixo teor de lignina e alta relação S/G). Tudo que enche os olhos e o coração do melhorista florestal e dos usuários das madeiras resultantes desses cruzamentos.



9. Teor de hemiceluloses

As hemiceluloses complementam a qualidade das madeiras para produção de celulose e de papel. Para a produção de celulose, elas devem ser retidas nas fibras para preservar rendimentos. A lignina deve ser extraída e celulose e hemiceluloses preservadas (o mais possível). Como as polpas brancas não mais possuem quantidades notáveis de lignina (só alguns fragmentos moleculares que pouco interferem), as hemiceluloses presentes são fundamentais para o desempenho das polpas.

As hemiceluloses estão relacionadas também ao consumo de reagentes químicos no branqueamento, pela formação de ácidos hexenurônicos durante o cozimento kraft. Por essa razão, afetam não apenas rendimentos e performances, mas também impactam em custos, geram gargalos operacionais e interferem na qualidade dos produtos finais.

Tamanha é a ênfase nas hemiceluloses que elas são hoje, junto à lignina e à densidade básica das madeiras, os parâmetros mais analisados para o melhoramento florestal das árvores dos eucaliptos. Infelizmente, ainda se navega muito nas superficialidades disso tudo. Tanto para teor de lignina como de hemicelulose, as metodologias são empíricas e pouco informativas sobre os constituintes das mesmas. Algo que deve ser mais estudado a partir de agora, com melhores técnicas analíticas.

Por outro lado, o empirismo nas avaliações também tende a aumentar, hoje com técnicas expeditas e simples para correlacionar “alhos com bugalhos”. Assim quase todos buscam avaliar por técnicas de NIR – Espectroscopia de Infra Vermelho Próximo quase tudo: desde lignina, até umidade e densidade básica, bem como rendimentos em produção de celulose. Bom se cuidar: avaliar por NIR o que pode ser feito a nível de “screening” e deixar determinações de maior qualidade analítica para as especificidades que definirão a qualidade da madeira dos materiais genéticos do futuro.

10. Teor e constituintes dos extrativos da madeira

Os extractivos da madeira são indesejados nos processos de polpação porque afetam diretamente o rendimento em conversão a celulose e podem ser transformados em contaminações aos produtos e equipamentos. Os teores de extractivos das madeiras de eucaliptos variam em função da espécie de *Eucalyptus*, das condições ambientais, da idade da árvore, da sanidade da floresta, etc. Os valores mais comuns estão entre 1,5 a 6%, uma enorme faixa de flutuação. Existem diversas metodologias para a extração desses compostos, por isso o nome extractivos. São grupos polifenólicos, ceras, ácidos graxos, resinas, carboidratos solúveis, etc. Todos se combinam em uma sopa muito pouco conhecida que afeta não apenas a polpação e a qualidade dos produtos e processos, como também alguns possuem inclusive impacto ambiental nos efluentes e vida aquática. Os extractivos mais comumente determinados por metodologias expeditas e simples são os que usam a água, a soda cáustica, o álcool, o diclorometano, o tolueno e o éter etílico como reagentes de extração. Quanto à estrutura desses extractivos, sua composição e características mais importantes, pouco se estuda ou se avalia. Também aqui, um longo caminho para otimizar.

11. Teor e constituintes das cinzas da madeira

As madeiras são ricas em elementos minerais. Esses elementos na maioria são da própria constituição das madeiras, mas existem também os que contaminam as toras nos manuseios e transportes (terra, areia, argila, etc.). Quando as florestas são colhidas, os minerais que eram do solo são exportados para as fábricas. Em geral, os minerais são bem identificados nas madeiras, as suas determinações são relativamente fáceis. Mede-se o teor de cinzas (por queima da madeira) e nas cinzas determinam-se os teores de cálcio, magnésio, ferro, potássio, silício, etc. Os teores de cinzas das madeiras de eucaliptos varia entre 0,3 a 1%. Com as tendências de fechamento de circuitos de águas nas fábricas de celulose kraft, o teor de cinzas e seus componentes passou a ser também muito importante. Isso se deve às características acumulativas de alguns íons nos processos fabris, causando incrustações, sujeiras, precipitados, etc. O teor de cinzas e dos seus constituintes varia bastante entre as espécies de *Eucalyptus*. Portanto, é uma interessante característica para otimização da qualidade da madeira e dos processos. Tamanha tem sido a preocupação, que íons da madeira que antes sequer eram notados, hoje se tornaram vitais: ferro, silício, cloretos, manganês, cálcio, potássio, etc. Alguns desses íons são deletérios aos processos, ou no branqueamento, ou no sistema de recuperação do licor. Além disso, ao serem retirados dos solos, esses se empobrecem. Madeiras com baixos teores de cinzas e minerais são importantes, tanto para o meio

ambiente (qualidade dos solos), como para os processos industriais. Esses elementos minerais são nas fábricas conhecidos como elementos não processuais. Esses elementos não processuais merecem toda a atenção dos produtores de celulose e dos fabricantes de equipamentos. Para alguns usuários das celuloses, eles são também vitais (especialmente das celuloses utilizadas em derivados químicos de celulose).

Fantásticos elementos minerais naturais presentes nos solos acabam-se transformando em fontes de problemas nas fábricas e em poluição dos efluentes, resíduos sólidos e gases. Hoje, as fábricas trabalham na redução da presença de elementos minerais, tanto nas terras que sujam as madeiras, como no teor de cinzas das próprias madeiras, em sua constituição química. As cascas das árvores são também muito ricas em cinzas. Quando os cavacos estão muito contaminados com cascas, esses tipos de problemas aumentam. Escrevemos dois capítulos interessantes para vocês lerem em nosso **Eucalyptus Online Book**. Um dos capítulos foi sobre as cascas das árvores dos eucaliptos (http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf) e o outro sobre os elementos minerais presentes nas madeiras e suas relações ambientais (http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf). Sentirei muita alegria se eles lhes forem úteis.

=====

QUALIDADES DESEJADAS NAS ÁRVORES DAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCAIPTOS



Graças ao excelente desenvolvimento tecnológico e a muita P&D em países como Brasil, África do Sul, Portugal, Espanha, Chile, Austrália, e outros mais, as árvores dos eucaliptos atingiram o “status” de super-árvores e as florestas, idem. Em um primeiro momento tecnológico, há algumas décadas atrás, o esforço vindo do melhoramento genético era todo colocado em desenvolver volumes (produtividade em volume de madeira). Logo a seguir, ocorreu uma migração para peso de madeira, associando a

produtividade volumétrica com a densidade básica das árvores. Muitas pesquisas foram realizadas para melhorar a qualidade das sementes florestais, as variáveis silviculturais, a ambiência e as interações florestais. Graças ao desenvolvimento das tecnologias para ganhos de produtividade, a indústria baseada nas florestas plantadas de eucaliptos tornou-se competitiva e vencedora em diversas regiões do mundo.

Em um segundo momento, um novo salto tecnológico foi dado pelo setor de florestas plantadas a partir dos anos 1980's. A combinação em larga escala comercial de técnicas de hibridação e clonagem permitiu ganhos rápidos e persistentes não apenas em volume e peso das árvores, mas também em inúmeras características tecnológicas das madeiras. Essas características eram muito mais difíceis de serem otimizadas pelas técnicas tradicionais de seleção de indivíduos superiores e cruzamentos controlados para produção de sementes em pomares.

A história da eucaliptocultura mudou drasticamente há pouco mais de 2 décadas. Os custos unitários de produção de madeiras foram reduzidos e as árvores tornaram-se mais produtivas e uniformes. No Brasil, a produtividade média expressa em m³/ha.ano cresceu de 20 a 30 para cerca de 45 - 55 em pouquíssimos anos. A variabilidade das florestas em seus principais indicadores também se estreitou, apesar de existirem potencialidades para ganhos adicionais em uniformidades, como já mencionamos nesse capítulo.

Graças à soma de altas produtividades nas florestas e melhor qualidade das madeiras, as florestas de *Eucalyptus* se tornaram vencedoras e admiradas no mundo florestal. Elas ganharam posição como produtoras de madeiras de qualidade para inúmeras utilizações: celulose, papel, madeira serrada, painéis de madeira, móveis, compensados, estruturas para construção civil, postes, etc. Isso sem falar no uso e potencial energético inquestionável (lenha, biomassa e biocombustíveis).

Definitivamente, as florestas plantadas e as madeiras dos eucaliptos evoluíram significativamente em pouquíssimo tempo. Novos ganhos são agora vislumbrados pelas tecnologias da engenharia genética e biotecnologia florestal. Os objetivos e as metodologias de avaliação estão-se sofisticando, o genoma do eucalipto praticamente descortinado, as relações entre genética e ambiente cada vez mais conhecidas, as técnicas de transferência segura de genes também. Em resumo, o momento é muito apropriado, não restam dúvidas que conquistamos muito. Porém, há muito mais ainda a se fazer, e coisas difíceis.

Ao buscar árvores superiores de eucaliptos para os programas de melhoramento florestal e da qualidade da madeira, o técnico florestal coloca sua atenção em algumas características vitais para obter sucesso. Ele pretende colocar suas árvores para uso comercial, logo seu foco se concentra muito em produtividade, eficiência e qualidade. Mais ou menos como os fabricantes de papel e celulose, cada um em sua área de influência.

Anualmente, as empresas introduzem novos materiais genéticos melhorados para plantios comerciais. Elas querem que suas florestas mostrem árvores superiores em diversas características vitais, tanto em termos de desenvolvimento florestal, como tecnológico. Já vimos o que se deseja obter nos papéis, nas fibras e nas madeiras dos eucaliptos. Tudo o que consideramos vital, apareceu nas relações “as onze mais vitais” dos papéis, fibras celulósicas e madeiras. Resta agora lhes apresentar a listagem das qualidades vitais das árvores das florestas plantadas.

“As onze características vitais das florestas dos eucaliptos para produção comercial de madeiras”

Essa listagem é mais fácil de lhes ser apresentada, é auto-explicativa para seus itens:

1. Volume comercial das árvores: resultante de uma combinação de dimensões das árvores, tais como diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial e fator de forma das árvores.
2. Peso comercial das árvores: uma relação direta entre o volume comercial da árvore e sua densidade básica.
3. Percentagem de casca nas árvores: representada pela relação volumétrica ou gravimétrica entre a fração de casca ou de madeira (xilema) em relação ao volume comercial da árvore.
4. Qualidade silvicultural da árvore: representada pela forma, retidão do tronco (fuste), arquitetura da copa, índice de área foliar, ramificações laterais, etc.
5. Resistência ou tolerância das plantas a pragas e doenças: importante se localizar genótipos capazes de oferecer resistência ou mesmo tolerância a pragas e doenças que representem perda de produtividade, ou mesmo que levem à inviabilidade florestal em uma determinada região. Detectados os indivíduos resistentes ou tolerantes, mesmo que eles não sejam produtivos, há boas chances de se transferir esses genes de resistência para indivíduos produtivos. Usam-se muitas técnicas inclusive de inoculação para checar se as resistências às pragas e doenças estão incorporadas nos genótipos melhorados.
6. Resistência ou adaptação das árvores a fenômenos climáticos e geográficos: destacam-se: déficit hídrico, frio e geadas, ventos fortes, alagamento e excesso de água no solo, declividade, altitude, etc.

7. Eficiência no uso da água e dos nutrientes: capacidade das árvores para produzir mais madeira com menor consumo de água e nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, etc.). Em geral, expressa-se isso como peso de madeira formado por peso de mineral presente nessa mesma madeira. Para a hidrologia das florestas, estão em pleno desenvolvimento os indicadores de consumo de água. Um deles pode ser a quantidade de madeira formada por quantidade de água evapotranspirada.
8. Eficiência fotossintética e capacidade de alocar material orgânico na parte de interesse da árvore (tronco, por exemplo)
9. Qualidades florestais típicas: arranque das mudas, superação da mato-competição, adaptação a terrenos declivosos, capacidade de ocupação do espaço fisiológico, etc.
10. Capacidade de enraizamento das estacas para permitir eficiente clonagem
11. Habilidade do clone em superar os desafios de crescer como povoamento clonal.

A combinação dessas variáveis tem permitido ao técnico florestal desenvolver alguns indicadores de eficiência tecnológica para suas florestas. Alguns são muito apreciados pelos investidores. Dentre esses indicadores, destacam-se: produtividade em $m^3/ha.\text{ano}$; produtividade em toneladas de madeira por ha.\text{ano}; produtividade em toneladas equivalentes de celulose seca ao ar por ha.\text{ano}; número de árvores para compor um metro cubico sólido de madeira; número de árvores por tonelada seca ao ar de celulose.

Esses indicadores são cuidadosamente acompanhados pelos melhoristas florestais, pelos gerentes operacionais, e por amplo público empresarial (executivos, banqueiros, acionistas, etc.). A atenção sobre o desempenho das florestas de eucaliptos é total, até mesmo por sua liderança. Os líderes costumam ser admirados, mas copiados e imitados também, não é mesmo?



São as florestas e os produtos das florestas de eucaliptos que mais conferem competitividade às indústrias que usam essas matérias-primas. Afinal, uma nova e moderna fábrica “greenfield” de celulose ou de papel pode ser adquirida no mercado e montada em qualquer lugar do mundo. Os grandes fornecedores de tecnologias e de máquinas estão prontos a vendê-la, independente de onde a fábrica será instalada. O capital necessário pode vir de acionistas, do governo, por captação nas bolsas, etc. Essa fábrica pode ser construída e operar no Brasil, Indonésia, Espanha, Uruguai, Chile, etc. Resultado dessa avaliação simples de competitividade: quem definitivamente garante a competitividade da fábrica será sua base florestal, sua produtividade, qualidade da madeira e custos dessa madeira posta fábrica.

Os eucaliptos se constituem hoje em matérias-primas populares e vencedoras para produção de celulose e papel. Além disso, as propriedades tecnológicas das árvores, madeiras, celuloses e papéis são excepcionais e passíveis de melhorias ainda adicionais. Há um amplo processo de melhoramento em andamento, mas muitas vezes falta acertar o passo entre as áreas envolvidas nessa rede de valor. Com esse capítulo espero ajudar a melhorar essa sintonia. E o diálogo entre as partes interessadas também. Com a otimização da rede, as vantagens podem ser repassadas aos clientes finais, não apenas nos preços, mas nas qualidades e nas variáveis operacionais de desempenho. Muito bom isso tudo, mas nada foi conquistado de graça. Houve muito esforço de P&D, inovação, coragem, determinação e força de vontade.

Para vocês entenderem um pouco mais o que representou esses ganhos tecnológicos florestais, vamos lhes mostrar uma tabela simples, comparando aqueles indicadores vitais florestais anteriormente mencionados. As diferenças na cronologia é de 30 a 35 anos apenas. Eu, de minha parte, tive o privilégio e a maravilhosa oportunidade de estar presente e estar participando de tudo isso nessas décadas, pois me graduei engenheiro

agrônomo silvicultor pela ESALQ/USP em 1970, o início dessa minha tabelinha a seguir.

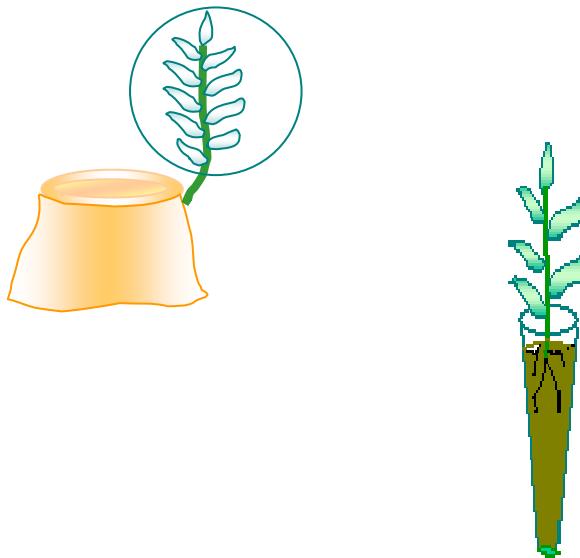
Povoamentos comerciais -florestas plantadas de <i>Eucalyptus</i>	1970 - 1980	2000 - 2010
Produtividade (m ³ madeira/ha.ano)	20 - 30	40 - 55
Produtividade (t madeira seca/ ha.ano)	10 - 18	20 - 30
Produtividade (adt polpa/ ha.ano)	5 - 7	10 - 16
Número árvores/m ³ madeira	6 - 12	2,5 - 4
Número de árvores/adt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

Árvores mais produtivas são fisiologicamente mais eficientes e oferecem maiores facilidades e desempenho nas operações florestais. Quanto maiores os volumes das árvore, maiores e mais eficientes serão as operações e os custos operacionais de produção serão menores. Além disso, florestas que crescem mais permitem economias em: número de mudas/hectare (pelo aumento do espaçamento), menores consumos de agrotóxicos, maiores produtividades das máquinas na colheita e transporte, maior relação m³ sólido/m³ de madeira empilhada, etc.

Árvores mais produtivas são também muito mais eficientes nos consumos de água e nutrientes. Elas conseguem produzir mais e melhor com a mesma quantidade dada desses insumos que árvores de pior desempenho florestal. O somatório dessas ecoeficiências todas coloca as florestas plantadas de eucaliptos como de baixo nível de impacto ambiental por unidade de madeira produzida. Isso tanto em consumo de recursos naturais por unidade de madeira, como pela necessidade de muito menor área a ser plantada para produzir a mesma quantidade de madeira a abastecer uma fábrica de celulose ou papel. Por isso tudo amigos, a importância da tecnologia florestal aplicada aos eucaliptos - ela tem sido a chave do sucesso ao abrir as portas para as empresas do setor a nível global.



PRINCIPAIS FATORES TECNOLÓGICOS A CONSIDERAR NA OTIMIZAÇÃO DA REDE DE PRODUÇÃO DO PAPEL DE EUCALIPTO - "DA FLORESTA AO PAPEL"



Fonte desenhos: VCP, 2005

A busca da contínua otimização da rede de valor que começa na floresta e termina no uso e reciclagem do papel exige muito estudo, conhecimentos, atenção e trabalho. São inúmeras as oportunidades para melhorias e muitos os elos onde se deve trabalhar. Caso não haja uma adequada coordenação, podem ocorrer inúmeros tipos de conflitos, os mais usuais, os de interesse e de vaidades. Quando a otimização dessa rede é buscada apenas dentro de cada elo, existem inúmeras chances de que muito do trabalho realizado seja em vão ou perdido. Por exemplo, se o melhorista florestal não souber o que o papeleiro precisa em seus produtos, ele pode escolher clones novos para introdução em seu processo que vai colocar por terra todo o trabalho de otimização que o papeleiro vinha fazendo com a sua matéria-prima celulósica atual. Esse tipo de situação é muito comum: cada um cuidando de seu “cantinho”, sem se preocupar em olhar o conjunto. Mais uma vez a necessidade da aproximação e diálogo entre as partes envolvidas e interessadas.

Levando-se em conta que são inúmeros os fatores a afetar toda essa intrincada rede de inter-relações, ouso relatar os onze itens que considero vitais para serem observados e monitorados, avaliados e otimizados. Isso quando a meta é a melhoria continuada e concomitante das florestas, madeiras, celulosas e papéis de eucaliptos.

“Os onze itens vitais a serem otimizados na rede produtiva do papel de eucalipto – “da floresta ao papel”

De forma direta, considero fundamental a atenção redobrada sobre os seguintes onze itens:

1. Espécie de *Eucalyptus*;
2. Clone (intra ou inter-específico) sendo propagado;
3. Idade de colheita da floresta;
4. Práticas silviculturais e de manejo florestal;
5. Defeitos principais apresentados pelas madeiras;
6. Deformações e finos presentes nas fibras celulósicas;
7. Suprimento de madeira à fábrica de celulose - (“mix” de madeiras);
8. Suprimento de polpas (fibras celulósicas) à fábrica de papel – (“mix” de polpas);
9. Tipo de fábrica de papel (integrada ou não integrada);
10. Condições do processamento industrial de fabricação de celulose;
11. Condições do processamento industrial de fabricação de papel.

Teremos ainda em nosso ***Eucalyptus Online Book*** e ***Eucalyptus Newsletter*** diversos outros capítulos e mini-artigos técnicos que serão específicos sobre diversos temas inter-relacionados a esses onze tópicos, entre eles:

- Anatomia e qualidade das fibras celulósicas dos eucaliptos;
- Qualidade e anatomia da madeira dos eucaliptos;
- Madeiras anormais em eucaliptos;
- Papel dos finos na fabricação do papel;
- Secagem da polpa celulósica e efeitos na qualidade do papel;
- Características silviculturais e tecnológicas das principais espécies de *Eucalyptus*;
- Misturas de polpas;
- Etc., etc.

Nessa seção focaremos alguns pontos chaves e vitais. A eles vocês devem se fixar em seus programas de melhoramento e otimização. Devem também entender as suas variações e interdependências. Dessa forma, e para isso realizar, as áreas de avaliações tecnológicas devem estar adequadas em recursos humanos e em equipamentos de ensaios. Caso isso não ocorra, teremos inúmeras chances de operar abaixo de condições ideais em nossos processos e com nossas matérias-primas. Isso aumentará desperdícios, ineficiências, inefetividades e custos.

A seguir, alguns considerandos sobre esses onze itens principais:

1. Espécie de *Eucalyptus*

A decisão sobre qual espécie de *Eucalyptus* utilizar em nossas plantações pode agregar ou desagregar competitividade à toda a rede em questão. Muitas vezes, a decisão sobre a espécie obedece critérios meramente silviculturais ou de adaptabilidade a uma determinada região (clima, solos, pragas, doenças, etc.). São esquecidas algumas características típicas de cada espécie em suas madeiras e celuloses resultantes, tais como: teor de lignina, relação S/G na lignina, densidade básica da madeira, freqüência e dimensões dos elementos de vaso, teor de hemiceluloses, consumo específico da madeira por tonelada de polpa, teor e tipo de extrativos, população fibrosa das fibras celulósicas, etc. Poderemos ter excelentes e adaptadas espécies, maravilhosas florestas e árvores, mas uma celulose pouco atrativa para os clientes de papel. Talvez não seja um fracasso no mercado, mas terá que lutar bravamente para conquistar e manter clientes. Em situações como essa, onde uma espécie não muito adequada tecnologicamente é definida para a floresta e não há como voltar atrás, melhor então focar muito bem o que vamos construir como fábrica de celulose para tentar minorar os impactos da qualidade da madeira.

Existem diversos exemplos sobre espécies de *Eucalyptus* com características bem diferenciadas nas madeiras e polpas e que podem interferir tanto nos processos de fabricação de celulose como de papel.

Vejam alguns casos:

- *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus nitens*: são espécies que em geral nas plantações florestais produzem madeiras de baixa densidade básica (0,40 a 0,48 g/cm³). Sem um adequado melhoramento genético, acabarão demandando altos volumes de madeira como consumo específico para produção de uma tonelada de celulose. As polpas produzidas terão altas populações fibrosas, o que pode prejudicar a drenabilidade e desaguamento da massa nas fábricas de papel. Porém, isso favorece opacidade e ligação entre fibras, como já sabemos.
- *Eucalyptus deglupta*: espécie que mostra baixa densidade básica nas madeiras de plantações e com elevada proporção de elementos de vaso de dimensões maiores.
- *Eucalyptus urophylla*: espécie com madeira rica em lignina total (praticamente 30% do peso), baixa relação S/G na lignina, alta

adaptação a condições climáticas, especialmente tropicais. Ideal para usos energéticos e hibridações em programas de melhoramento florestal.

- *Eucalyptus globulus*: espécie com elevado teor de hemiceluloses e baixo de lignina nas suas madeiras, além de alta relação S/G. Por sua mais alta densidade básica nas madeiras e fácil deslignificação é uma matéria-prima muito apreciada pelos fabricantes de celulose. Os fabricantes de papel também apreciam suas polpas pela fácil drenabilidade e boas resistências da folha a níveis baixos de refinação.
- *E. paniculata*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*: espécies reconhecidas pela alta densidade da madeira, por essa razão exigindo condições especiais na área de preparo de cavacos.
- *Eucalyptus dunnii* e *E. maidenii*: espécies de bom crescimento em regiões meridionais e com madeiras de média densidade e baixos teores de lignina.

Como visto acima, cada espécie tem características florestais e tecnológicas próprias para suas madeiras. Elas precisam ser conhecidas para a otimização proposta. Pelas técnicas de hibridação e cruzamentos controlados, e depois clonagem dos indivíduos superiores selecionados, as espécies podem transferir genes para esses híbridos. Isso permite excelentes combinações nas características das florestas, madeiras, celuloses e papéis. Isso se afina com a antiga sabedoria chinesa: “cada opção pode ser uma ameaça ou gerar uma oportunidade”.

Frente ao grande número de espécies de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, mais de 600, são fantásticas as opções para otimizações na rede da floresta ao papel. Além disso, existem ainda ecotipos, variedades, sub-espécies, etc.

Evidentemente, ao se variar as espécies, estaremos com enormes chances de variar a qualidade da madeira e as condições operacionais das fábricas de celulose e de papel. O que precisamos é domar isso tudo a nosso favor: reduzir a variabilidade, aumentar a uniformidade, conseguir as vantagens que cada espécie oferece e otimizar as necessidades fisiológicas vitais dos fabricantes (qualidades, produtividades e custos).

Já vimos que são diversas as características vitais para se definir as qualidades das madeiras e das fibras celulósicas para a fabricação de papel. Cada uma dessas características e a combinação entre elas pode ser mais adequada para um determinado processo de fabricação ou a um tipo de papel. Uma característica sozinha dificilmente é suficiente para definir a qualidade de uma matéria-prima. Por isso, a necessidade de se conhecer bem cada uma e as interações entre elas.

Em relação às espécies de *Eucalyptus*, sabe-se muito bem que:

- Cada espécie possui um potencial florestal e de produção de celulose para papel, às vezes oculto e que precisa ser encontrado.
- Cada espécie também possui limitações importantes em algumas das características vitais. Por exemplo, dificilmente encontraremos madeiras de *Eucalyptus urophylla* com teores de lignina total por volta de 20%. Ou então, madeiras de *E.grandis* com densidades básicas de 0,60 g/cm³ aos 7 anos de idade, ou então árvores de *E.grandis* resistentes ao cancro (doenças agressivas em condições de clima quente).
- Cada espécie pode apresentar alguma característica vital relevante e que pode ser incorporada em programas de melhoramento florestal;
- Novos e contínuos ganhos podem ser obtidos e introduzidos com segurança a partir de outras espécies, desde que se conheça bem a herdabilidade e a variabilidade dessas características.

A maioria das espécies de *Eucalyptus* possuem fibras curtas, estreitas e rígidas, as suas madeiras são facilmente deslignificadas e convertidas a celulose, os papéis costumam ganhar por isso algumas propriedades que são vitais ao uso (porosidade, volume específico aparente, absorção a água, etc.). Entretanto, isso pode acontecer com maior ou menor intensidade. Por isso, a necessidade de se conhecer bem cada material.

As diferenças entre as espécies permite o alargamento da base genética para os eucaliptos. Estamos distantes de estar utilizando todo esse potencial florestal e madeireiro que a Natureza nos oferta. Como complemento a essa fantástica base genética, temos tecnologias que permitem aproveitar as melhores características, pois muitas delas possuem comprovada herdabilidade e são propagadas nas árvores clonadas.

Curiosamente sempre surge a pergunta "qual a melhor espécie de eucalipto para produção de celulose e papel?" Alguns mais afoitos respondem rápido que é a espécie que usam ou o seu clone favorito. A resposta não deve ser imediata, ela depende de inúmeros fatores locais, dos processos industriais e dos produtos e usuários finais. Não temos dúvidas que algumas espécies são de sucesso e podem ainda oferecer híbridos ainda melhores. Dentre elas, destacam-se: *E.globulus*, *E.grandis*, *E.nitens*, *E.saligna*, *E.dunnii*, *E.camaldulensis*, *E.viminalis*, *E.urophylla*, *E.maidenii*, *E.regnans*, etc. Os híbridos inter-específicos melhor sucedidos estão no Brasil: *Eurograndis*, *Eurosaligna*, *Euroglobulus*, *Eurocamaldulensis*, etc. Atentem que esses nomes de híbridos são nomes fantasias, o correto seria se dizer *E.urophylla x E.grandis* e mesmo assim, a ordem dos nomes depende de qual foi a árvore mãe (doadora dos óvulos - em primeiro lugar) e qual foi a árvore pai (doadora dos pólen - em segundo lugar). Um híbrido obtido por cruzamento controlado usando pólen de *E.urophylla* e óvulos de *E.grandis* deveria então ser denominado *E.grandis x E.urophylla*.

Lembrar ainda que ao se obter a heterose ou vigor híbrido pela hibridação (para crescimento em volume principalmente), também se aumenta a variabilidade das expressões fenotípicas, quando as plantas são propagadas por plantio das sementes híbridas. Por essa razão, as plantações de mudas de sementes de híbridos são feitas para buscar os melhores indivíduos, que após testes clonais, possam representar materiais genéticos para novos clones a serem propagados vegetativamente (clonagem). É esse estágio tecnológico que o setor de florestas plantadas de eucaliptos domina e usa muito bem. Existe enorme esforço na geração de híbridos clonais, alguns até mesmo intra-específicos (dentro de uma mesma espécie).

Entretanto, nem toda hibridação conduz a heterose positiva ou a melhorias de qualidade. Podem ocorrer, inclusive, valores de algumas qualidades em níveis piores do que os valores da geração paterna. Isso se deve a anormalidades genéticas nos cruzamentos.

De qualquer forma, o importante é que os limites de variabilidade apresentados por muitas espécies fazem com que os melhoristas florestais busquem valores extremos para certas características em outras espécies. Após localizá-los, eles buscam introduzir os mesmos nas espécies tradicionais. Dentro desse contexto, a hibridação inter-específica e a clonagem tem colaborado para fazer o que a Natureza sozinha teria muitas dificuldades de realizar. Naturalmente, uma espécie pode ter poucas chances de cruzar e hibridar com outra (por localização geográfica, dificilmente *E.urophylla* e *E.grandis* teriam se cruzado naturalmente). Os cruzamentos controlados apenas permitem fazer de forma natural o que a Natureza conseguiria, mas que poderia levar séculos, ou talvez nunca acontecer.

Um caso de sucesso na hibridação foi o obtido com o cruzamento das espécies *E.grandis* e *E.urophylla*. Essa combinação sempre se destacou por oferecer indivíduos superiores em crescimento (heterose positiva) e por apresentarem resistências ou tolerâncias a doenças graves dos eucaliptos em regiões de trópicos ou semi-trópicos. Por essa razão, constitui-se hoje no material dominante sendo plantado no Brasil, servido de alicerce para a grande maioria das empresas florestais no País. Entretanto, essa "mesmice" causa-me um certo grau de desconforto, pelo excessivo estreitamento e achatamento da base genética e da oferta de novos indivíduos com características vitais extremas e favoráveis.

Muitas fábricas são construídas em determinadas regiões ou crescem demasiadamente rápido e não conseguem obter nesse local a madeira de seus sonhos nas quantidades necessárias. Elas são obrigadas a buscar parte de seu suprimento no mercado. Nesse caso, acabam tendo que conviver com espécies sendo plantadas por terceiros, que não eram exatamente as que desejavam para seus processos. Outras fábricas são implantadas em regiões onde as espécies tradicionais não são perfeitamente adaptadas devido a situações tais como: déficit hídrico, frio e geadas, solo muito pobre, pragas ou doenças, etc. Também são obrigadas a buscar outras espécies ou genes que lhes permitam adaptar suas florestas a essas condições não comuns.

Portanto, sempre teremos esse tipo de turbulência em relação a espécies e materiais genéticos sendo utilizados pelos plantadores de florestas. Algo que não devemos estranhar, então!

É fácil de entender que situações como essas afetam a qualidade da madeira e suas performances nas fábricas de celulose e papel. Fácil então entender porque não existe uma polpa universal de eucalipto. Fácil também entender porque as polpas de distintos fabricantes são algo diferentes em seu desempenho papeleiro

2. Clone (intra ou inter-específico) sendo propagado

Muitas surpresas têm acontecido no desempenho florestal e industrial de materiais genéticos aparentemente similares. Mesmo se trabalhando com clones obtidos por cruzamentos de duas mesmas espécies (*E. urograndis*, por exemplo), os comportamentos celulósico-papeleiros e florestais podem ser bastante diferenciados entre clones. Quando uma determinada fábrica de celulose adequa o seu processo à madeira de um determinado clone, ela tende a estranhar no momento em que se troca o clone no fornecimento de suas madeiras. As condições operacionais precisam ser realinhadas e ajustadas, e às vezes, isso traz dificuldades e contrariedades. O mais usual é que surjam reclamações toda vez que a madeira de um novo clone entra no processo. Ele (o clone) acaba “recebendo a culpa” pelas perdas de produção ou por novos gargalos que surgem. Isso, até que as novas receitas e poções mágicas sejam restabelecidas e criadas. Deve-se por isso, ter um muito adequado serviço analítico de pré-avaliação da qualidade da madeira de cada clone, antes mesmo dele ser propagado e de ser consumido comercialmente. Então, esses procedimentos devem ocorrer tanto no momento da seleção do clone, como também um pouco antes de seu uso comercial (pela colheita e envio da madeira à fábrica). Com isso, as fábricas terão informações relevantes para o que deve ser ajustado em seu processo, tais como para compensar: maior densidade básica da madeira, maior teor de lignina, menor teor de hemiceluloses, etc. Se isso é muito válido para o fabricante de celulose, deveria ser igualmente válido para os papeleiros, no momento em que irão receber polpa de um clone ou material genético diferente. Observem então que as decisões tomadas na área florestal impactam toda a rede produtiva do papel.

Quais seriam as características a serem avaliadas nesses pré-testes? Acabamos de lhes mostrar nesse capítulo as listas das onze vitais para os papéis, madeiras e fibras de celulose. Algumas são mais relevantes para determinados desenhos de fábricas e tipos de celulose ou papel. Precisamos então conhecer bem quais as demandas principais de nossos clientes de madeiras e de fibras celulósicas. Quais são seus objetivos de produção? Quais as suas propriedades vitais requeridas em seus produtos para valorizá-

los? Quais seus gargalos operacionais e que impedem o melhor desempenho das suas matérias-primas? Ficou claro isso? Estou repetindo, é para não deixar dúvidas.

3. Idade de colheita da floresta

A idade das árvores no momento da colheita é uma das formas mais eficientes de se diferenciar qualidade de madeiras e polpas. Praticamente inúmeras características vitais das madeiras e fibras são afetadas pela idade, pelo envelhecimento das árvores. A árvore, sendo um ser vivo, cresce e passa por períodos de juventude até atingir a idade adulta e de maturidade. As florestas comerciais de eucaliptos, especialmente no Brasil, estão sendo colhidas em idades cada vez mais jovens (6 anos, mais recentemente). Nessa fase, o lenho é ainda juvenil, a madeira não atingiu o melhor desenvolvimento de importantes características vitais tais como: comprimento da fibra, fração parede das fibras, densidade básica da madeira, teor de lignina, etc. Nessas situações, as fibras se colapsam e se hidratam mais facilmente. Elas são (cada uma) menos pesadas por serem mais curtas e terem menos parede celular. Isso vai impactar a população fibrosa, a colapsabilidade das fibras e o desempenho papeleiro. Pode-se compensar isso pela seleção de clones que atinjam melhores resultados nessas propriedades em idades mais jovens - é uma alternativa viável.

Uma outra maneira de se melhorar algumas propriedades da polpa celulósica é alongando a rotação (tempo entre o plantio e a colheita) das florestas. Com árvores mais velhas estaremos favorecendo mais fácil drenabilidade e desaguamento, melhores volume específico aparente, porosidade, maciez, absorção de água, etc. nas folhas de papel. Por outro lado, como existem sempre pontos a favor e pontos contra, estaremos prejudicando as resistências que dependem da ligação entre fibras e a opacidade.

Uma coisa é absolutamente certa: os técnicos florestais e as empresas gostariam de ver suas florestas crescendo a ritmos alucinantes e podendo colher as florestas o mais cedo possível. Antecipar receitas é o sonho dos empresários e gestores. Produtividade florestal, com sustentabilidade, é o sonho dos engenheiros florestais. Muito bom isso para os fluxos de caixa e para as ofertas de madeira. Mas não tão bom para certas demandas de qualidade para madeiras e fibras. Se continuarmos a trabalhar nessa linha de raciocínio, logo estaremos colhendo florestas infantis, com menos de 5 anos para se fabricar celulose. Com certeza, os impactos nas qualidades das madeiras e fibras serão grandes. E nos solos florestais, no meio ambiente e na biodiversidade também.

O melhoramento genético, a hibridação e a clonagem poderão buscar minimizar esse tipo de impacto na qualidade da madeira, trabalhando com genótipos que conduzam a árvores de madeiras mais densas, mesmo em idades infantis.

Eu já vejo a idade da árvore como oportunidade florestal, ambiental e tecnológica. Postergar a colheita das florestas plantadas para 8 a 10 anos no Brasil pode ajudar a melhorar diversas propriedades vitais das madeiras, celulosas e papel. Isso tanto nas qualidades dos produtos, como desempenhos operacionais. Não estou falando em árvores seniores, muito velhas, apenas em idades em que suas madeiras estarão no ponto ótimo de suas características celulósico-papeleiras. Estamos então nos referindo a otimizar a qualidade tecnológica das madeiras e fibras e ao mesmo tempo os indicadores de produtividade e de custos. Dentre eles, os seguintes: produtividade em toneladas de celulose seca ao ar por hectare.ano; custos de implantação florestal; custo de produção da madeira. Ao mesmo tempo, avaliar as qualidades das madeiras, das polpas e dos correspondentes papéis.

Devemos fugir da utilização de árvores sobre-maduras, pois suas madeiras podem ser muito mais ricas em extractivos e sais minerais, podem ter alta densidade básica da madeira e baixa permeabilidade à água, dificultando a penetração do licor de cozimento. As condições de picagem, cozimento e branqueamento podem ser definitivamente prejudicadas. Portanto, estamos apenas falando em "fugir dos 8 (muito jovens) e 80 (muito velhas)". Ao fazer isso, podemos contemplar ainda de forma muito qualitativa a área florestal.

Existem muitos poucos trabalhos de pesquisa mostrando o que acontece com a qualidade da madeira dos eucaliptos para faixas de idade intermediárias, entre 7 a 10 anos, para as condições brasileiras. Em relação às madeiras de segundo e terceiro ciclos, então nem se fale, quase nada existe. Se existir algo, desconheço.

Uma coisa posso lhes garantir: "a idade ótima para a produção de celulose deve depender da espécie, do local onde ela está sendo plantada, do processo produtivo e seus gargalos e da qualidade desejada no produto final". Com um bom tempero econômico e tecnológico poderemos entender melhor e decidir sobre qual a idade ideal contemplando a rede e não apenas a área florestal. Muitas vezes a própria área florestal se esquece que para se colher mais tarde, devemos evitar competição entre as árvores em idades jovens. Isso se consegue aumentando o espaçamento entre árvores. São muito bem conhecidos os fantásticos resultados que a empresa Veracel Celulose consegue com suas florestas clonais de *Eurograndis*, plantadas em espaçamentos 4x3 metros, dando 12 metros quadrados por planta. Gasta-se muito menos no plantio (menos preparo de solo, menos mudas, etc.) e se obtêm excelentes volumes em idades de colheita mais tardias (500 a 550 m³/ha para colheitas aos 10 anos de idade).

Preocupa-me ainda a ênfase exagerada em reduzir a idade de colheita. Pode parecer fabuloso, mas é muito perigoso para a celulose, para o papel e para o meio ambiente. Recentemente escrevi um mini-artigo sobre isso e o denominei "Manejando as Florestas Plantadas de Eucalipto para Maior Sustentabilidade". Se quiserem dar-me uma alegria, leiam-no em: http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan09.html#quatorze.

4. Práticas silviculturais e de manejo florestal

A árvore, como ser vivo, responde muito bem aos tratos silviculturais ao longo de seu desenvolvimento. Práticas como fertilização, irrigação, controle da luminosidade e espaço útil por planta, combate a pragas e doenças, combate à mato-competição, etc., refletem-se em mais vigoroso crescimento e maior produtividade florestal. A árvore, crescendo mais saudável, dá origem a madeira mais uniforme e em maior volume. Embora existam referências que todas as práticas aceleradoras de crescimento possam causar perda de densidade básica da madeira, esse fato pode ser contrabalançado pela escolha de genótipos para clonagem que mostrem adequada densidade básica na madeira ao mesmo tempo que adequados níveis de crescimento florestal. Lembrar ainda que densidade básica não é o único fator a ser monitorado e otimizado.

Povoamentos florestais bem cuidados podem render excelentes incrementos volumétricos, ou em peso, em uniformidade, em custos e em qualidade tecnológica da madeira.

Não existem muitos trabalhos na literatura mostrando as influências dos tratos silviculturais sobre a qualidade da madeira e da celulose dos eucaliptos. Mas isso não atrapalha os processos de melhoramento florestal, pois ao se monitorar a densidade básica, consegue-se estimar outras propriedades com as quais ela se correlaciona.

Já o tipo de manejo florestal (talhadia por corte raso em idade jovem ou manejo por alto fuste com desbastes intermediários) pode afetar bastante as qualidades das madeiras. O primeiro gera um único produto, quando muito dois: madeira para celulose e árvores e toras finas para energia. Já o manejo por alto fuste gera sortimentos diferenciados e com madeiras obtidas em idades diferentes. Algo a complicar um pouco mais a gestão da qualidade da madeira. Cabe aos gestores e aos técnicos fazerem as escolhas adequadas para otimizar as demandas das diferentes partes interessadas pelas diferentes qualidades de madeira.

5. Defeitos principais apresentados pelas madeiras



Toras abandonadas na floresta – Madeira deteriorada para a fábrica

Muitas vezes, o usuário da madeira está distante dela, de sua origem e de seu uso. Essa distância pode ser geográfica ou pela completa falta de presença do gestor para olhar e dialogar com essa madeira. Muitos técnicos não acompanham com cuidado a vida das árvores e a forma como os corpos das mesmas são formados nas florestas. Nas fábricas, o mesmo problema ocorre, as toras são armazenadas e poucos tomam um pouco de tempo para ir vê-las e “conversar” com elas.

Muitos defeitos surgem dessa ausência dos gestores, outros surgem pelo descaso com as próprias madeiras. São os seguintes os tipos principais de defeitos nas madeiras:

- Madeira de árvores que sofreram ação do fogo (incêndios florestais);
- Madeiras defeituosas devido à incidência de doenças ou pragas (ferrugem, cancro, insetos perfuradores, cupins, etc.);
- Madeira apodrecida devido a longos períodos de estocagem inadequada. Infelizmente esse é um defeito muito comum nas fábricas e nas madeiras estocadas na floresta.
- Madeira de tração causada por ventos fortes, por declividade elevada no local onde foi plantada a floresta, etc.
- Madeira com exudação de resina devido a feridas de diversos tipos;
- Madeira da inserção de galhos grossos (também conhecidas por nós); etc, etc....

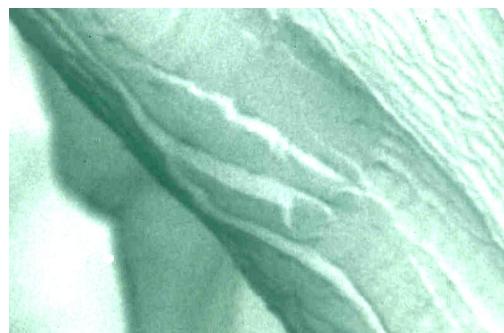
As madeiras defeituosas mostram performance irregular e em geral pior na fabricação de celulose e papel. As mais usuais alterações que ocorrem no processo são: dificuldades de cozimento e branqueamento devido ao aumento dos teores de extractivos ou de lignina; perdas de rendimentos; perdas de resistência da folha de papel; dificuldades de drenagem na máquina de papel devido à alta proporção de madeira de tração, etc., etc.

Caso o técnico que é responsável pelo controle de qualidade da madeira não esteja atento ao estado das madeiras que entram na fábrica, ele pode ser surpreendido pela baixa qualidade, maior variabilidade e piora generalizada dos indicadores de qualidade da celulose e por conseqüência, do papel. Isso além dos prejuízos nas operações e custos.

6. Deformações e finos presentes nas fibras celulósicas



Fibras enroladas



Micro-fissuras parede celular

Devemos colocar muita atenção nas deformações e defeitos das fibras. Já falamos sobre isso, mas é um tópico que passou a ganhar mais destaque quando se introduziram prensas lavadoras e desaguadoras nas fábricas de celulose e papel. Fibras enroladas, encurvadas, com paredes fissuradas, etc. possuem comportamentos diferenciados na fabricação do papel. Essas deformações pouco têm a ver com a qualidade das fibras nas árvores, exceto em casos de madeiras de tração ou de árvores doentes (cancro, por exemplo). A quase totalidade das deformações se originam no processo de conversão de celulose e no processo de fabricação de papel. As intensas movimentações a que as fibras são submetidas são responsáveis por isso, a prensagem e o esmagamento de fibras também. A secagem rápida, a refinação, as misturas de químicos, etc. são também fontes de deformações nas fibras. Existem equipamentos bem confiáveis para essas medições.

As deformações impactam nas qualidades da fibra individual e nas propriedades do papel. Muitas vezes, o técnico desconhece acerca das

deformações e tende a associar o desempenho papeleiro de suas fibras com a qualidade da madeira. Isso pode ser muito maligno, principalmente em decisões que venham a ser tomadas nos processo de otimização. Estaremos atribuindo à madeira uma causa que não vem dela.

Também a presença de finos que se acumulam nas fábricas de papel impactam nas propriedades do papel produzido. Também aqui se precisam separar as variações que se devem a distúrbios ou causas processuais das variações que se devem às madeiras ou fibras celulósicas.

7. Suprimento de madeira à fábrica de celulose - ("mix" de madeiras)

O produtor de celulose quase sempre tem a necessidade de misturar madeiras de espécies, clones ou madeiras de características diferentes para abastecer sua fábrica. Isso pode acontecer com madeiras distintas de *Eucalyptus*, mas pode inclusive acontecer com madeiras de outros gêneros (*Pinus*, *Acacia*, *Mimosa*, etc.).

Portanto, para a pergunta “é possível se misturar espécies diferentes para se fabricar celulose?”, a resposta é Sim. Começamos esse capítulo falando exatamente sobre isso, que o setor de celulose e papel se apoia em uma ampla variedade de matérias-primas. São poucas as situações de espécie única ou clone único.

No Brasil, o setor de produção de celulose de eucalipto vem fazendo há anos a gestão do processo de controle do “mix” de madeira para tentar homogeneizar seus suprimentos. Como falta madeira para muitas fábricas, a solução tem sido controlar as entradas para uniformizar o processo e as saídas. Para a produção de celulose de mercado, as fábricas esbarram em especificações cada vez mais rigorosas. Por isso, e para evitar surpresas, deve-se procurar misturar madeiras que se conheçam muito bem e que não sejam muito diferentes em qualidade. Por exemplo, madeiras de baixa densidade básica (*E.grandis*, *E.saligna*) não devem ser misturadas em um único digestor com madeiras de muito alta densidade (*E.paniculata*, *E.tereticornis*, *Corymbia citriodora*). Se isso for feito, as dificuldades aparecerão e variarão se essas proporções de madeiras variarem. Apesar de que muitas vezes as qualidades das celuloses são até interessantes, as dificuldades aparecerão no cozimento, branqueamento, secagem, etc.

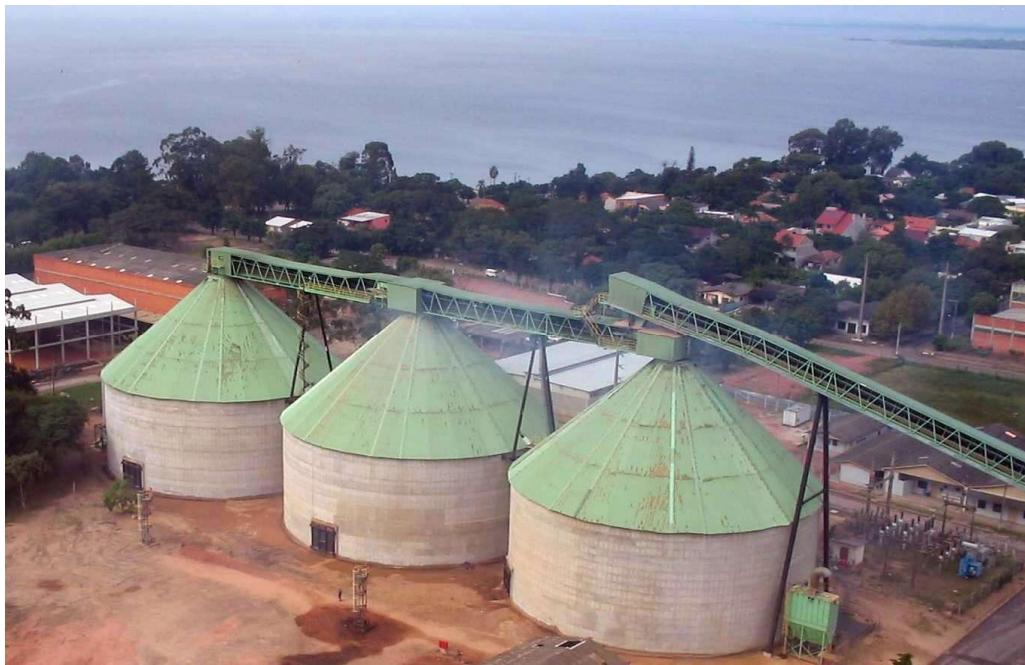
A preservação da qualidade mais uniforme e da estabilidade dos processos industriais costuma ser alcançada na dosagem de um “mix” mais constante de madeira ao digestor. As madeiras de qualidades muito distintas devem ser armazenadas e convertidas em cavacos separadamente. Já a mistura deve ser controlada (ou pelo controle dos pesos ou de volumes de cavacos).

A meta é uniformizar a desuniformidade no que diz respeito às diferenças de clones, espécies, idades, tempos pós-corte, ciclos de corte, madeiras de terceiros, e condições das madeiras (deterioração, doenças, etc.). Essa gestão é muito difícil de ser feita em fábricas grandes, pois são enormes as quantidades de toras e cavacos a demandar logísticas diferentes. Em resumo, a chance de se ter variabilidade alta, mesmo com o controle das dosagens no "mix", é grande.

Hoje, com as técnicas de GPS, telecomunicações, informática, internet, etc., é possível se programar melhor as colheitas, os transportes, as chegadas e as estocagens de madeiras de tipos diferentes.

Sugere-se ainda, para minimizar as surpresas indesejáveis e os conflitos, que cada tipo distinto de madeira seja muito bem conhecido por pré-avaliações labororiais. Conhecendo as peculiaridades de cada madeira, as chances de sucesso das misturas aumentam. Inclusive, os próprios laboratórios podem definir as proporções mais interessantes a serem feitas nessas receitas.

A ciência e o negócio florestal são de extremo dinamismo. Ao mesmo tempo que se aperfeiçoam as técnicas para minimizar os efeitos das misturas, surgem novas demandas para outros tipos de misturas. É o caso das exigências de proporções de madeiras certificadas para se poder ganhar a certificação do produto na cadeia de custódia.



Silos de cavacos para controle adequado do "mix" de madeira
(Aracruz Celulose – Unidade Guaíba)

Os setores de estocagem de toras e preparação de cavacos devem-se especializar e se modernizarem para lidar com isso tudo. Picadores, pilhas de cavacos, pilhas de toras, silos, peneiras classificadoras devem ser adequados

e ajustados para cada tipo de madeira que entra na mistura. A situação ideal é se terem linhas de picagem separadas e ajustadas para cada tipo de madeira. Reforça-se mais uma vez a necessidade de bom e saudável diálogo entre as partes envolvidas e interessadas. Nisso se colocam as áreas florestal, tecnológica e de fabricação de celulose e papel.

Curiosamente, cada empresa busca uma solução própria para seu "mix" de madeira. Ela é função das disponibilidades locais e das restrições da fábrica. Por essa razão, os discursos sobre vantagens e desvantagens dos "mixes" parecem antagônicos e conflituosos de uma fábrica para outra. Isso deixa os leigos surpresos, especialmente os fornecedores de madeira, que ficam sem entender o que os clientes da madeira querem. Em tempo, às vezes os fazedores dos "mixes" também estão completamente perdidos: sua única meta é dar madeira ao digestor para a fábrica não parar por falta de madeira. O resto e suas consequências parecem não ser problema para eles.

As variações de proporções de madeiras nos "mixes" causam sempre alterações na performance operacional da fábrica e nas qualidades dos produtos. Os distúrbios iniciais devem ser monitorados e entendidos para permitir a otimização do novo "mix", ou seja, para que toda nova "formulação mágica" possa funcionar bem.

É muito comum que uma fábrica mude de clone em sua receita de madeira. Alguma nova madeira entra no processo e pode vir a causar complicações. As primeiras consequências são desequilíbrios operacionais, como já falamos antes. É comum que surjam reclamações sobre esse novo clone e sua madeira. Com pouco tempo, após os ajustes nas condições processuais, a fábrica ganha continuidade operacional e os operadores que reclamaram passam até mesmo a elogiar a nova madeira.

Em outro capítulo desse livro digital, mencionei que ao ser usada pela primeira vez a madeira de *E.globulus* em teste industrial na empresa Riocell onde trabalhei, os resultados foram desanimadores. A causa foi logo descoberta: não havia sido feito nenhum ajuste nos picadores para operar com essa madeira mais densa do que a de *E.saligna* que estava em uso antes. Os cavacos saíram muito espessos e o cozimento e outras operações subsequentes ficaram prejudicadas. Corrigido o problema na nova campanha com essa madeira e os ganhos foram notados e reconhecidos

8. Suprimento de polpas (fibras celulósicas) à fábrica de papel – (“mix” de polpas)

Todo papeleiro que se preze tem como missão e dever desenvolver “receitas” que devem funcionar bem para a performance de suas máquinas e para a qualidade de seus produtos. Muitas vezes, essas receitas ficam “fechadas a sete chaves” e só alguns poucos têm acesso a essa tal de “fórmula padrão”. Na elaboração dessa fórmula são ponderados diversos fatores, tais como: tipo e dosagem de reagentes químicos (cola, amido, resinas, cargas minerais, etc.), grau de refinação da polpa, qualidade e proporção de refugo reprocessado e de fibras recicladas, e tipos de polpas de fibras virgens.

Nos Estados Unidos, Europa e Ásia, a mistura de polpas é fato comum nas fábricas de papel. As fibras de eucalipto têm a missão de “resolver problemas” causados pelas fibras longas. Elas ajudam na melhoria da formação, opacidade, porosidade, lisura, etc. Por outro lado, as fibras longas aumentam substancialmente as resistências das folhas, tanto quando úmidas ou secas, especialmente a resistência ao rasgo e dobramento. Um bom casamento de fibras muito diferentes.

No Brasil, a fabricação de papel branco de impressão costuma ser quase sempre baseado em 100% de fibras curtas e virgens de eucalipto. Poucas são as fábricas que usam misturas de fibras, quando muito incluem fibras brancas recicladas, nada mais. Já para papéis sanitários e papéis de embalagem, as misturas são mais comuns. Há fábricas de papel embalagem que fazem essa mistura nos digestores, misturando cavacos de madeiras de *Pinus* e de eucaliptos. Com isso, reduzem os custos de produção e aumentam rendimentos.

A grande verdade é que o setor papeleiro no Brasil, principalmente o que fabrica papéis “off-set” para uso “cut-size” e para papéis base para revestimento, todos têm preferência para uso de 100% de fibras de eucalipto. Esse dogma se deve principalmente ao custo e disponibilidade de fibra longa branqueada no país. Opostamente, no resto do mundo papeleiro, a mistura de polpas é uma rotina. Seria esse dogma brasileiro uma questão de princípios, custos, preciosismo ou promocional para as fibras curtas dos eucaliptos? Possivelmente a resposta seja também uma mistura dessas diversas causas.

O “mix” de polpas é muito comum na fabricação de papéis especiais, cartões, cartolas, papéis multi-camadas, papéis para cigarros, etc. Teremos todo um capítulo sobre misturas de polpas nesse nosso livro, aguardem.

Mais recentemente, e algumas vezes por força de legislações, as misturas de fibras têm sido aceleradas por novas demandas, por exemplo:

- Necessidade de se ter no “mix” de fibras celulósicas uma certa percentagem mínima de fibras de madeira certificada;

- Necessidade de se ter que provar a origem das matérias-primas na cadeia de custódia;
- Necessidade do “mix” conter uma proporção mínima de fibras recicladas de papel pós-consumo;
- Necessidade de se ter valores limites de AOX (compostos halogenados totais) nos efluentes das fábricas de papel;
- Necessidade de correções de “coarseness” da massa para boa performance na seção úmida da máquina de papel;
- Etc.

As condições mudam, as variáveis mudam, os sistemas se tornam mais complexos. Para gerenciar isso tudo, o fabricante de papel precisa de ferramentas e controles cada vez mais sofisticados. Aqueles que não descobrirem isso e se fossilizarem terão dias tristes na condição de fóssil. Portanto, atenção e rapidez se quiserem continuar nos mercados.

9. Tipo de fábrica de papel (integrada ou não integrada)

Já falamos sobre isso, mas vamos repetir mais uma vez. O comportamento de polpas nunca-secas de uma mesma origem é completamente diferente se essa mesma polpa receber uma secagem até 80% ou mais de consistência. Maior o grau de secagem, maiores as diferenças. Fábricas de celulose de mercado que também fabricam papel conhecem muito bem isso. É o caso da Portucel, Aracruz Celulose Unidade Guaíba, Suzano Unidade Mucuri, VCP, etc.

A razão é muito simples. A polpa, ao secar, sofre um fenômeno físico-químico conhecido por “histerese”. As moléculas de celulose e hemiceluloses, que estavam inchadas e separadas pela água na parede celular, se aproximam tanto com a retirada das moléculas de água, que passam a atrair uma às outras - elas não mais cedem espaço a novas entradas de moléculas de água. Na re-hidratação dessa polpa, a absorção e retenção de água são significativamente diminuídas. Isso definitivamente afeta a produção de papel, pois impacta em: inchamento das fibras, ligação entre fibras, facilidade de refinação, drenabilidade, desaguamento, secagem, colapsabilidade, propriedades físico-mecânicas e óticas do papel, etc. Portanto, ao se conhecer bem essas diferenças, pode-se até mesmo usar essas diferenças para otimizar o “mix” de fibras. Em minha época de trabalho na Riocell (hoje Aracruz Celulose Unidade Guaíba), a fábrica de papel tinha receitas especiais combinando fibras secas e nunca-secas para otimizar a produção do papel.



10. Condições do processamento industrial de fabricação de celulose

Muitas condições do processo de produção de celulose impactam a qualidade do produto celulose e do produto papel. Apenas vou lhes relatar algumas mais significativas, para que coloquem seu foco sobre elas. São as seguintes, as que recomendo atenção:

- Percentagem de casca contida nos cavacos de madeira;
- Percentagem de cavacos "off-size" (de tamanhos inadequados);
- Pré-impregnação dos cavacos previamente ao cozimento kraft;
- Tipo de cozimento (baixa temperatura máxima, alta carga alcalina e longo tempo de cozimento? Ou condições opostas?)
- Seqüência, tipos de oxidantes e consumo de químicos no branqueamento;
- Eficiência de lavagem das polpas;
- Etapa de remoção de ácidos hexenurônicos da polpa não branqueada;
- Desaguamento, prensagem e secagem da polpa;
- Misturadores dinâmicos, despastilhadores para remoção de grumos, etc.
- Etc., etc, etc.

Essa condições processuais afetam a uniformidade, a qualidade e a performance das polpas. Elas podem afetar diversas características vitais das polpas celulósicas, tais como:

- Resistência da fibra individual;
- Teor de finos;
- Capacidade de ligação entre fibras;
- Cargas aniónicas nas fibras;
- Teor e tipo de hemiceluloses;
- Teor e tipo de extractivos;
- Hidrofilicidade e retenção de água;
- Teor de lignina residual nas paredes das fibras;
- Histerese;
- Colapsabilidade das fibras;
- Deformações das fibras;
- Etc., etc.

Como todo o processo de produção de celulose se realiza em fase aquosa, todos os fatores e condições que afetarem a hidrofilicidade das fibras, seu inchamento e as resistências das fibras individuais, afetam a performance papeleira dessa celulose. Por exemplo, a presença de extractivos e de fragmentos hidrófobos de lignina ajudam a reduzir a força de adesão e retenção de água pela polpa. O processo papel vai sentir essa diferença. Já os ácidos hexenurônicos, as hemiceluloses e as moléculas de holocelulose degradadas são potencialmente mais ricas em cargas aniónicas e afetam positivamente a hidrofilicidade. São coisas muitas vezes esquecidas, até mesmo difíceis de serem medidas. Enquanto isso, o laboratório de controle de qualidade fica perdido realizando um número extra de refinamentos e testes mecânicos nas folhinhos, sem entender as razões do que está acontecendo.

O curioso mesmo nesse processo todo de interações entre propriedades e condições operacionais, é que se podem encontrar relações estatísticas até certo ponto curiosas. Por exemplo, é perfeitamente possível se encontrar uma correlação forte entre a viscosidade do licor preto no setor de recuperação (a uma certa concentração de sólidos) e a resistência à tração da polpa. Isso porque o licor preto contém lignina, hemiceluloses, extractivos retirados da madeira e os compostos químicos usados no cozimento. Se esses componentes da madeira foram removidos para o licor preto, eles não estarão mais na madeira. Vão afetar então as características do licor preto e vão afetar as características papeleiras da polpa. As hemiceluloses do licor preto deixaram de estar presentes na polpa, por isso, a polpa contendo menos hemiceluloses vai-se comportar de forma diferente. Curioso então o que a estatística revela!! Enfim, tudo que pode modificar as características vitais das fibras, vai afetar o desempenho da polpa na máquina de papel e as propriedades do papel, entendido isso?

Só não podemos nos perder tentando controlar tudo, temos que separar as coisas importantes das demais. É o que eu tentei fazer para vocês nesse capítulo. Caso não façam isso, vamos acabar encontrando gente

tentando controlar a qualidade do papel pelo controle da qualidade do licor preto da fábrica de celulose kraft. Ou do número kappa da massa após o digestor, coisa não tão infreqüente.

Amigos, muita atenção então, releiam esse capítulo, mesmo que isso possa ser aborrecido. Façam uma comparação com seus processos de produção de celulose e descubram, eventualmente, algumas de suas mazelas processuais.

11. Condições do processamento industrial de fabricação de papel

Inúmeras variáveis vitais estão envolvidas na fabricação do papel, qualquer que seja o seu tipo. Conforme elas sejam conhecidas, medidas, gerenciadas e otimizadas, melhor o desempenho do processo e das polpas celulósicas sendo utilizadas. Por isso, o técnico que utiliza ou que vende polpas de eucalipto, precisa conhecer essas variáveis muito bem e as suas interações com as características vitais das fibras.

Em momento anterior, falamos que a mistura de fibras e a receita mágica desenvolvida pelo papeleiro são importantes. Quaisquer mudanças nas duas já interferirá de imediato na performance e qualidades ao longo da máquina de papel. Se essas mudanças são fatos que estão ao nível do desconhecimento, ou se elas forem executadas sem planejamento de ações, o papeleiro passará a ter muitas surpresas inexplicáveis. A responsabilidade muitas vezes é atribuída à qualidade da celulose, afinal ela é o mais abundante componente na composição do papel.

Sempre que um determinado tipo de polpa é trocado por outro (mudança de marca comercial de polpa de eucalipto, por exemplo), temos que fazer os devidos ajustes, antes de se julgar e comparar a nova com a polpa anterior. É comum que um papeleiro compre uma nova marca de celulose de mercado. São diversas as razões para essa nova aquisição: curiosidade sobre a marca, informações de terceiros, redução de custos, busca de alguma vantagem inerente à polpa, etc. Se ele acreditar que vai substituir a polpa anterior pela nova e a máquina de papel não vai sentir a mudança, ele é papeleiro de primeira viagem. Qualquer alteração desse vulto tende a desestabilizar o processo de fabricação. Mesmo que elas sejam vantajosas (por exemplo: melhor drenabilidade e desaguamento), elas podem trazer outros reflexos na fabricação (pior resistência à tração, marca de feltro acentuada, etc.). Essas mudanças ocorrerão até que novos ajustes no vácuo, nas prensas, na calandra, etc. tenham sido processadas. Isso pode tomar algum tempo, alguns dias, às vezes semanas. Por essa razão, ministestes de novas polpas comerciais, de algumas horas apenas, são fatalmente condenações ao fracasso.

Por essas considerações sobre mudanças de tipo de polpa no processo de fabricar papel, qualquer teste é sugerido ser feito através a substituição gradual (pouco a pouco) e com um prazo de avaliação bem maior do que se tem conduzido em muitas fábricas de papel.

As grandes causadoras de variações nas performances das polpas e na qualidade dos papéis são as seguintes:

- Refinação da celulose: refino em separado ou da mistura de fibras, grau de refino aplicado, tipo de discos, consistência de refino, etc.;
- Tipos e condições das vestimentas de máquina: abertura de telas e feltros, limpeza, etc.;
- Prensagem da folha úmida: prensa sapata, pressão linear aplicada no nip da prensa, etc.;
- Curva de secagem nos secadores;
- Interação da polpa com os aditivos aplicados ("debonder", amido catiônico, resinas de resistência a úmido, etc.);
- Quantidade e qualidade do refugo sendo reincorporado à massa;
- Etc., etc.

A massa de refugo é grande comprometedora da performance papeleira de qualquer fibra. Quando trocamos uma polpa por outra, a tendência em um primeiro momento é de gerar mais refugo (seco ou úmido). Se não tivermos o procedimento padrão de dosar sempre a mesma quantidade de refugo na massa, essa maior geração voltando ao processo só vai piorar ainda mais o processo de estabilização da máquina. Em fábricas de papel, mesmo em condições normais, é grande a variação nas quantidades geradas de refugos (entre 5 a 25%, em geral). Há ainda diversos tipos de refugos: refugo da conversão, refugo úmido gerado em quebras, bobinas e resmas desclassificadas, etc. Se não controlarmos o "mix" de refugo, a sua qualidade e a sua dosagem, teremos efeitos variáveis nas qualidades e performances papeleiras da massa. E os incautos acreditarão que o problema é causado pela celulose de fibras virgens, já que nunca tiveram a visão de fazer a gestão do refugo.

Essas condições operacionais vitais mencionadas afetam diretamente algumas das características papeleiras mais importantes das fibras celulósicas, tais como:

- Comprimento (por corte) e colapso das fibras;
- Fibrilação e desfibrilamento (afeta a área superficial de fibras e fibrilas, carga aniónica, ligação entre fibras, etc.)
- Resistência da fibra individual;
- Resistência da folha úmida;
- Hidrofilicidade e IRA- Índice de Retenção de Água;
- População fibrosa;

- Deformações das fibras;
- Teor de finos;
- Etc.

O IRA – Índice de Retenção de Água é uma característica fácil de ser medida e acompanhada. Ele se relaciona a inúmeras características das polpas celulósicas. Por exemplo, uma celulose de mercado vendida na forma de folhas secas apresenta IRA entre 90 a 120; uma celulose nunca-seca tem esse valor variando entre 150 a 190, uma massa refinada pode ter valores de IRA entre 180 a 280, dependendo do tipo de celulose e do grau de refino. Portanto, como as amplitudes são grandes, o IRA pode ser utilizado como um muito fácil indicador para controle operacional.

A carga aniônica, expressa pelo teor de grupos carboxila, é também um bom indicador para as fábricas de papel, pois relaciona-se às fibras e aditivos. Ela é bastante utilizada para controle da química da parte úmida. Como não depende só das polpas celulósicas, fica difícil usá-la nas receitas de massa para controle apenas das polpas.

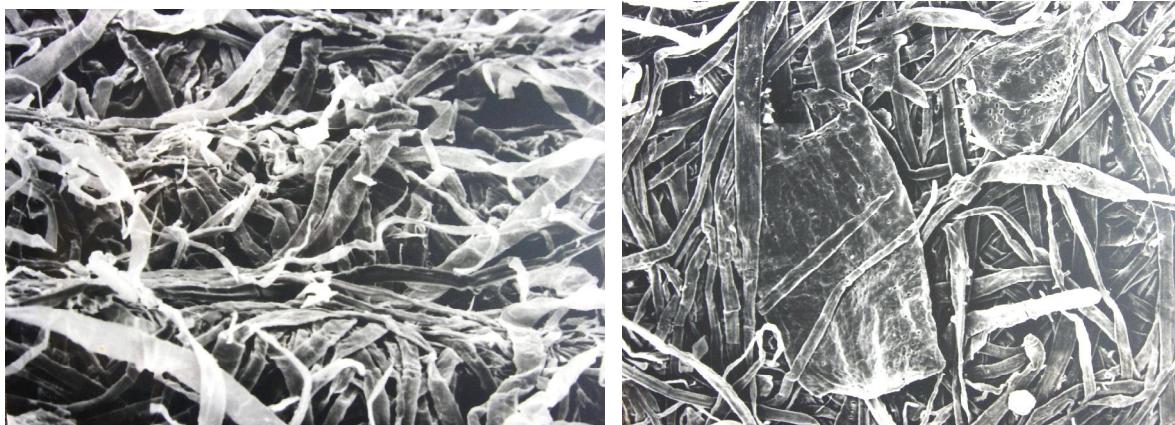
Mais uma vez amigos, tentem entender o que está acontecendo com suas fibras/polpas e a variabilidade disso. Quando me refiro à variabilidade, lembrem-se, não estou dizendo apenas para olhar a variabilidade dos valores médios, mas também de valores pontuais. Mais um exemplo para esclarecer de vez: se fizermos 10 medições de consistência da folha úmida ao longo do perfil transversal da máquina, com certeza teremos valores médios muito parecidos. Entretanto, os valores pontuais ao longo do perfil e para as diversas amostragens, deverão variar muito mais. É nisso que devemos colocar nossa atenção.

Ou então: quando medimos o comprimento médio das fibras do eucalipto em uma determinada massa refinada, possivelmente teremos valores próximos a 0,65 mm. Isso indica muito menos do que as distribuições dos comprimentos de fibra em faixas pré-definidas de comprimentos, naqueles valores que nos interessar controlar.

Existem mais do que suficientes equipamentos hoje disponibilizados pelos fornecedores de automação para se controlar muitas das características vitais de maneira contínua e online. Sei que isso tem um custo alto, mas o benefício alto pode mais do que justificar. Entretanto, é preciso saber entender e interpretar os dados para ações gerenciais e técnicas mais qualificadas. Não basta apenas ter números e equipamentos, eles devem ser os propulsores de ações.



PROONDO ALTERNATIVAS SIMPLES PARA MELHOR DESEMPENHO DAS MADEIRAS E FIBRAS CELULÓSICAS NA REDE PRODUTIVA DO PAPEL



Superfícies de papéis higiênico (esquerda) e de impressão (direita)

“A simplicidade é o último degrau da sabedoria”

(Citação de Khalil Gibran, famoso pensador libanês-americano)

Já conseguimos expressivos ganhos de produtividade e qualidade em nossa eucaliptocultura. Esses ganhos ocorreram principalmente nas duas últimas décadas. O próximo grande salto no desenvolvimento tecnológico do eucalipto deverá ser na qualidade de suas madeiras, pois elas hoje estão sendo destinadas a variadas e inúmeras finalidades. Há que se engenheirar melhor isso, é premente.

Existe muito potencial para o melhoramento genético combinar características qualitativas e quantitativas de diversas espécies e clones de eucaliptos. Cada espécie de *Eucalyptus*, ainda mais as pouco usadas e plantadas entre nós, são fontes de genes. Por essa razão, nunca se deve dizer que uma espécie é ruim. Ela pode não ser adequada para fabricação de celulose, mas pode ser notável para a apicultura (*E.melliodora* e *E.robusta* por exemplo). Outras vezes, ela tem genes para resistência ao frio (*E.dalrympleana* e *E.nitens*, por exemplo) que podem muito bem serem transferidos para outras espécies comerciais por hibridação ou engenharia genética.

Quer seja pela heterose, ou pela herança aditiva de caracteres ligados à qualidade da madeira, ou pela biotecnologia florestal, o certo é que temos novas e poderosas ferramentas sendo utilizadas no melhoramento florestal. Essas tecnologias são de rápido desenvolvimento e propagação. Basta apenas se garimpar bem para achar o que se quer no que existe de tantos *Eucalyptus* no mundo e se usar dessas ferramentas de aceleração do

melhoramento florestal Tudo dentro dos cuidados legais e da sustentabilidade, claro está?

Gostaria de lhes lembrar que por herança aditiva entende-se a expressão de uma determinada característica fenotípica (exemplo: densidade básica da madeira) nos filhos em um nível intermediário com relação à geração paternal. Por exemplo, se cruzarmos *E.grandis* com densidade básica 0,4 g/cm³ com *E.urophylla*, com densidade básica 0,55 g/cm³, teremos na geração F1 indivíduos com valores de densidade básica entre 0,4 a 0,55 g/cm³, mas não deverão ocorrer valores maiores (heterose positiva) ou menores (heterose negativa). Isso só acontecerá por erros de análises ou de amostragens.

Dominando as diferentes tecnologias de transferência de genes e encontrando na Natureza os indivíduos com valores extremos desejados, com muita certeza os usuários das madeiras e fibras dos eucaliptos terão novos motivos de júbilo e de muito sucesso comercial nas décadas que virão.

Por tudo que dissemos e repetimos, é muito importante se conhecer mais e melhor acerca da variabilidade das características vitais das madeiras e das fibras celulósicas para essa grande quantidade de espécies de *Eucalyptus*. Hoje, a maioria é muito pouco pesquisada pela ciência, mesmo as de um pouco menor sucesso comercial são desprezadas pelos pesquisadores. Até parece que no Brasil só há material para pesquisas de *E.urograndis* e agora de *E.globulus*. Uma mesmice chata e preocupante: todos tentando fazer as mesmas coisas sob material genético muito parecido. Ao invés de tentar localizar novas oportunidades de ganho, ficam todos tentando tirar o máximo proveito daquilo que se conhece muito bem. Com isso, estreitam ainda mais a base genética e a chance de encontrar indivíduos extremos vai diminuindo. Infelizmente, isso ocorre em todos os níveis de pesquisa, sempre os pesquisadores buscam pesquisar o que está na moda, o que é charmoso, esquecendo que pesquisas desse tipo não levam a descobertas, apenas a pequenos ganhos de melhoria contínua.

Apenas para lhes mostrar o enorme potencial que existe para espécies comerciais de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, vejamos quantas são as espécies que vem sendo plantadas com sucesso no mundo do eucalipto, colocadas em ordem alfabética para cada um desses dois gêneros:

E.alba
E.benthamii
E.botryoides
E.camaldulensis
E.cinerea
E.cloeziana
E.dalrympleana
E.deanei
E.deglupta

E.dunnii
E.fastigata
E.globulus
E.grandis
E.gunnii
E.macarthurii
E.maidenii
E.melliodora
E.microcorys
E.nitens
E.paniculata
E.pellita
E.pilularis
E.propinqua
E.regnans
E.resinifera
E.robusta
E.saligna
E.smithii
E.tereticornis
E.urophylla
E.viminalis

Corymbia citriodora
C.ficifolia
C.maculata
C.ptychocarpa
C.torelliana

Todas essas mais de 3 dezenas de espécies de *Eucalyptus* e de *Corymbia* são bastante plantadas pelo mundo. Seus desenvolvimentos como árvores, suas limitações e suas adaptações a condições de clima, solo e água são também conhecidos. Entretanto, quase nada existe para estudos das características vitais das madeiras e das polpas de muitas dessas espécies. Conhece-se até que muito bem as espécies *E.saligna*, *E.grandis*, *E.nitens*, *E.globulus*, *E.regnans*, *E.fastigata*. Já para as demais, existe um enorme vácuo sobre as propriedades tecnológicas de suas madeiras e fibras. Quando muito se conhece algo sobre a densidade básica de suas madeiras e as dimensões anatômicas médias de seus constituintes anatômicos. Falta aprender muito ainda e saber como usar o que se descobrir nos programas de melhoramento genético da qualidade da madeira dos eucaliptos. Agora que o genoma do eucalipto está praticamente mapeado, fica cada vez mais próxima a nova era da tecnologia florestal - estamos nos preparando para ela e para os novos ganhos tecnológicos florestais e industriais. Há novos e

desafiadores caminhos a percorrer para a melhoria adicional das qualidades tecnológicas das madeiras, polpas celulósicas e papéis dos eucaliptos.

Dentre as características vitais das madeiras e das fibras, temos que alocar esforço sobre “as mais vitais”, para simplificar as pesquisas e ganhar aceleração na escolha dos materiais. Quais poderiam ser elas então?

Refleti muito sobre o tema e escolhi um número menor e combinando características, as quais considero como o mínimo aceitável para as pesquisas nesse novo momento tecnológico. Se quiserem analisar outras mais, fiquem à vontade, mas tomará mais trabalho e tempo. Se escolherem muitas, correção o risco de diminuir o tamanho da amostra e do número de repetições. Cairemos naquele problema de tomadas de decisão de pouca qualidade. Prefiro analisar menos coisas, mas que sejam vitais, e com boa qualidade estatística (amostragem, precisão e representatividade - com menores erros).

Apresento-lhes então as “mais vitais” para a produção de celulose e papel:

Madeira:

- Teor de lignina total;
- Teor de hemiceluloses;
- Relação S/G da lignina;
- Densidade básica;
- Consumo específico de madeira por tonelada de celulose;
- Demanda de álcali ativo ou efetivo e geração de Sólidos Secos Totais.

Fibras / polpas celulósicas:

- Teor de finos (DPCJ);
- Fração parede;
- Teor de hemiceluloses;
- População fibrosa e “Coarseness”;
- Resistência da fibra individual;
- Capacidade de ligação entre fibras;
- Capacidade de hidratação e inchamento;
- Volume de elementos de vaso por grama de polpa.

Algumas dessas propriedades e características são mais difíceis de serem medidas que outras. Nem todos dispõem de equipamentos para se medir a resistência da fibra individual ou a capacidade de ligação entre fibras. Em alguns casos, podemos buscar alguma propriedade mais simples e que se relaciona bem com essas vitais. Por exemplo, com a resistência da fibra individual, temos a resistência ao rasgo da folha seca de celulose em níveis iniciais de refino. Para a capacidade de ligação entre fibras, podemos

avaliar a resistência à tração da folha seca de celulose a um nível inicial de refino. A resistência à tração se relaciona muito bem com a ligação entre fibras e a resistência ao rasgo depende muito da resistência da fibra individual. Para as celuloses de eucaliptos, a resistência ao rasgo é também muito afetada pela ligação entre fibras. Por essa razão, acredito que a melhor forma de se avaliar as mesmas é ao nível inicial de refino, a um baixo grau de desfibrilamento, mínimos corte e colapsamento. Sugiro se interpolar os valores para nível fixo de volume específico aparente ($1,8 \text{ cm}^3/\text{g}$ por exemplo – metodologia TAPPI de formação de folhas). Folhas com mesma gramatura e mesmo volume específico aparente são ideais, pois o mesmo peso de fibras se distribui em mesma espessura e área de folha.

Já a capacidade de inchamento e hidratação pode ser avaliada de duas maneiras alternativas:

- Pela velocidade de refinação da polpa - por exemplo, número de revoluções do moinho PFI para se ganhar 10° SR (Schopper Riegler). Quanto menor o número de revoluções, mais facilmente se hidrata a polpa.
- Pela diferença entre o valor de IRA – Índice de Retenção de Água medido primeiro em polpa seca a 10% de umidade e depois medido na polpa úmida e refinada a 500 revoluções do moinho PFI. Quanto maior essa diferença em termos absolutos, maior é a capacidade da polpa celulósica inchar e hidratar.

A seguir, podemos construir uma bela planilha para classificar nossas espécies, clones e materiais genéticos selecionados. Ficará fácil, com base nas características “mais vitais” pré-definidas, criar grupos de materiais genéticos, separados conforme os resultados apresentados. Esses grupos poderão ser estabelecidos conforme as necessidades tecnológicas das fábricas e das qualidades desejadas nos produtos.

Não se esqueçam que a idade das árvores afeta muitas dessas características vitais selecionadas. Conto muito com a idade de colheita das árvores para ajudar nesse processo de otimização.

Em função de faixas pré-estabelecidas para cada dessas propriedades, será fácil compor grupos de materiais genéticos distintos e de certo ponto, únicos.

Alguns grupos potenciais para separação desses materiais conforme a qualidade da madeira e fibras celulósicas:

Grupo 1: grande grupo *E.globulus* e clones assemelhados

- Baixo teor de lignina total (20 a 23%);

- Alta relação S/G (entre 4 a 5);
- Alto teor de hemiceluloses na madeira (entre 17 a 20% de pentosanas);
- Alta densidade básica na madeira (entre 0,58 a 0,62 g/cm³);
- Baixo consumo de madeira por tonelada de celulose (cerca de 26 a 2,8 m³/adt de celulose no digestor);
- Baixo consumo de álcali ativo no cozimento kraft (cerca de 18%);
- Baixa população fibrosa e alto valor de “coarseness” (entre 8 a 10 mg/100 metros de “coarseness”, por exemplo);
- Etc., etc.

Grupo 2: grande grupo *E.urophylla* e clones assemelhados

- Alto teor de lignina total (27 a 30%);
- Baixa relação S/G (entre 2 a 2,5);
- Baixo teor de hemiceluloses na madeira (entre 13 a 14% como teor de pentosanas);
- Média densidade básica (entre 0,49 a 0,53 g/cm³);
- Alto consumo de madeira por tonelada de celulose (cerca de 3,6 a 3,8 m³/adt de celulose no digestor);
- Alto consumo de álcali ativo no cozimento kraft (cerca de 22%);
- Média população fibrosa e médio valor de “coarseness” (entre 6,5 a 7,5 mg/100 m para “coarseness”);
- Etc., etc.

Grupo 03: grande grupo *E.saligna* e *E.grandis* e clones assemelhados

Essas espécies são reconhecidas por terem baixa a média densidade básica e valores médios de teores de lignina e de hemiceluloses, baixa relação S/G na lignina e população fibrosa alta, o que representa baixos valores de “coarseness”. Os consumos específicos de madeira por tonelada seca ao ar de celulose no digestor são, por isso mesmo, altos.

Grupo 04: grande grupo *E.dunnii*, *E.maidenii* e *E.nitens* e clones assemelhados

Grupo de materiais genéticos cujas madeiras possuem características intermediárias entre *E.globulus* e *E.grandis* - muito interessantes e potenciais para novas oportunidades florestais e papeleiras.

Grupo 05: grande grupo *E.tereticornis*, *E.camaldulensis*, *E.cloeziana* e clones assemelhados

Espécies de mais alta densidade básica, mas com altos teores de lignina e valores de “coarseness” mais altos que os obtidos em polpas de *E.saligna* e *E.grandis*.

Grupo 06: grande grupo *Corymbia citriodora* e clones assemelhados

Interessantíssima espécie de *Corymbia*, que apesar de não ser possível (até agora) seu cruzamento com espécies de *Eucalyptus* para geração de híbridos, tem um potencial papeleiro muito interessante. As madeiras possuem muito alta densidade básica, baixos teores de lignina, relação S/G média (cerca de 3) e mais altos teores de pentosanas.

Evidentemente, faltam muitos dados para se adicionarem nesses citados grandes grupos potenciais. A literatura quase não mostra valores característicos para as propriedades que chamamos de vitais para as suas madeiras e fibras celulósicas. Entretanto, sempre é tempo de começar a procurar, a garimpar, a medir. Se fizermos isso, vamos com certeza encontrar alguns tesouros escondidos.

Em capítulos futuros desse livro digital, pretendo me dedicar mais a fundo sobre cada espécie de *Eucalyptus* e *Corymbia*, das citadas nesse

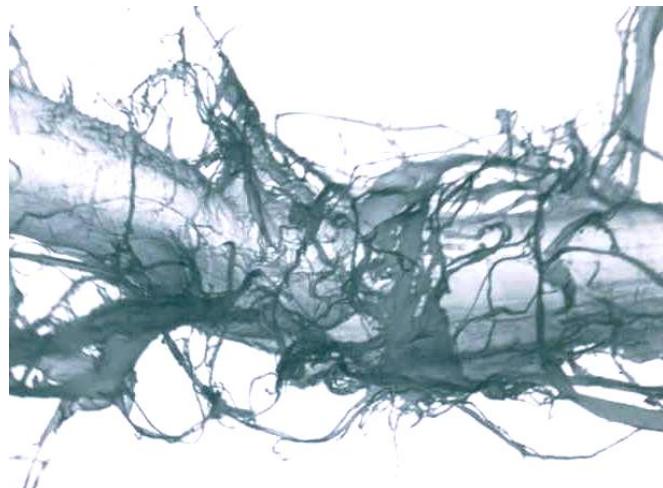
capítulo, fazendo considerações relevantes sobre suas virtudes e defeitos, tanto florestais como de tecnologia de suas madeiras.

O que eu gostaria de reafirmar é que com poucas características vitais das madeiras e polpas celulósicas podemos com facilidade antever e estimar com segurança a sua performance nas fábricas de celulose e papel. Podemos também associar a produtividade florestal ao desempenho global do material na rede produtiva do papel. Essas características vitais também nos permitirão realizar “screenings” de materiais com adequado nível de segurança. Em fases seguintes do melhoramento e otimização, poderemos partir para avaliações tecnológicas mais amplas e detalhadas, procurando atender mais as especificidades de fabricantes e mercados.

Afinal, em poucos anos já conseguimos tanto conhecimento acumulado. Com alguns anos a mais e em estudos direcionados e integrados, poderemos fazer muito mais. Só peço que fujam dessas “mesmices” atuais de todos só estudarem as mesmas coisas. Estarão com isso afunilando nossas bases genéticas e nos deixando com menos opções futuras.



CONSIDERAÇÕES FINAIS



Fibra refinada com liberação de fibrilas

Quando planejei esse capítulo do **Eucalyptus Online Book** não tinha a idéia de escrever tanto, mas o tema é apaixonante, intrincado e desafiador. As coisas vão-se relacionando e encaixando, as idéias idem, a mente corre solta para visões interessantíssimas a compartilhar pela escrita.

A caneta caminha com suavidade e rapidez pela lisa folha de papel de eucalipto. Ainda não aprendi a escrever diretamente no computador, sou homem do papel, minha mente interage com ele para criar o que escrevo. Espero que tenham gostado, apesar de eu ter consciência de que algumas vezes fui repetitivo demais. Entretanto, fiz isso de propósito, como se estivesse dando uma aula, onde o professor repete mais de uma vez para os alunos entenderem bem o conceito.

Amigos, existe portanto um fantástico caminho de ricas oportunidades para todos os usuários de madeiras e de polpas celulósicas dos eucaliptos. Caso consigamos uma maior coordenação das pesquisas acadêmicas e industriais, poder-se-ia abreviar bastante o tempo para saltos tecnológicos fantásticos. As oportunidades são inúmeras, esperando pela nossa ação. Elas não levam em conta apenas a genética das árvores, mas também os aspectos silviculturais, a idade da floresta, as condições tecnológicas de se fabricar celulose e papel e os desejos dos usuários dos papéis.

Algumas espécies são definitivamente interessantes: *E.globulus*, *E.dunnii*, *E.nitens*, *E.benthamii*, *E.grandis*, *E.saligna*, *E.maidenii*. Elas são indicadas para novos cruzamentos e produção de híbridos inter-específicos, como também para melhoramento dentro da própria espécie.

A idade de colheita das árvores é algo que vai surgir com mais ênfase e isso não vai demorar. As razões para alterá-la serão mais ambientais, por sustentabilidade e por qualidade diferenciada de produtos industriais do que por custos e produtividade.

Finalmente, nossa otimização da rede produtiva do papel de eucalipto conduzirá à melhoria dessas excepcionais virtudes tecnológicas das madeiras e fibras dos eucaliptos, como mais baixos teores de lignina, mais altas relação S/G, mais altos teores de hemiceluloses, mais baixos consumos específicos de madeira na conversão a celulose, mais adequadas performances em máquinas e adequadas propriedades das folhas secas e úmidas do papel.

As possibilidades estão ai para serem cultivadas. Encontrem-nas e aproveitem com sabedoria e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA



Meus amigos, estou, a seguir, disponibilizando textos que de alguma forma guardam relação direta com o que apresentamos nesse capítulo. Muitos desses textos são altamente relevantes e podem ser obtidos para leitura ou downloading via Web. Outros, mais antigos, ainda da era pré-Internet, só mesmo em bibliografias como revistas, livros ou palestras encontrados em bibliotecas especializadas.

De qualquer maneira, temos a seguir praticamente uma centena de referências de alto valor para quem quiser aprender sobre melhoramento da qualidade das madeiras e das polpas celulósicas dos eucaliptos para a fabricação de papel. Em dois capítulos anteriores desse nosso livro digital, também aqui citados para vocês, é possível se encontrar muitas mais referências para vocês se divertirem aprendendo. Aguardem também, pois novos e mais detalhados capítulos surgirão sobre esse tema em nosso **Eucalyptus Online Book**. Visitem os capítulos que já foram lançados sobre isso (capítulos 03 e 04), prometo que vão gostar.

Infelizmente, para os leitores que desconhecem o idioma Português, a maioria das referências está nele apresentada, já que é enorme a produção de material técnico e científico sobre esses temas no Brasil e em Portugal.

Almeida, M.H.; Araújo, C.; Araújo, J.A.; Silva, F.C.; Neves, I.; Paiva, V.; Santiago, A.; Ribeiro, D. **Melhoramento genético do eucalipto: que impacto na realidade?** 9 pp. (Sem referência de data e de fonte)

Disponível em:

<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-36.pdf>

Anjos, O.; Santos, A.; Simões, R. **Efeito do teor de hemiceluloses na qualidade do papel produzido com fibra de eucalipto.** 5º Congresso Florestal Nacional. Portugal. 9 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T4-23.pdf>

Aracruz Celulose. **A very special fiber.** Website especializado.
Acesso em 15.03.2009:

http://www.aracruz.com:80/show_prd.do?act=stcNews&menu=true&lastRoot=234&id=459&lang=1

Aracruz Celulose. **Uma fibra muito especial.** Website especializado.
Acesso em 15.03.2009:

http://www.aracruz.com.br/show_prd.do?act=stcNews&menu=true&lastRoot=16&id=124&lang=1

Assis, T.F. **Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta.** 18 pp. (Sem referência de data ou de fonte).

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2008.%20Estrat%20gias%20de%20Melhoramento%20FIBRA%20CURTA.doc>

Barrichelo, L.E.G.; Brito, J.O. **Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*.** 17º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 8 pp. (1984)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12_variabilidade%20barrichelo%20brito.pdf

Bassa, A.; Bassa, A.G.M.C.; Sacon, V.M.; Valle, C.F. **Seleção e caracterização de clones de eucalipto considerando parâmetros silviculturais, tecnológicos e de produto final.** II Colóquio Internacional sobre Celulose Kraft de Eucalipto. 20 pp. (2005)

Resumo disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/SessaoIIPalestra1VCP.pdf>

Bassa, A.G.M.C.; Silva Jr., F.G.; Sacon, V.M. **Misturas de madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do processo Lo-Solids.** Scientia Forestalis 75: 19 – 29. (2007)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr75/cap02.pdf>

Bison, O. **Melhoramento de eucalipto visando à obtenção de clones para a indústria de celulose.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras. 182 pp. (2004)

Disponível em:

<http://www.prpg.ufla.br/genetica/Disserta%20e%20Teses/Tese%20do%20Odair.pdf>

Blomstedt, M.; Panula-Ontto, S.; Kontturi, E.; Vuorinen, T. **Um método para reduzir o arrancamento de vasos de folhas de polpa de eucalipto mediante modificação com carboximetilcelulose.** O Papel 69(2): 35 – 44. (2008)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/14_vasos%20abtcp.pdf

Caixeta, R.K.; Trugilho, P.F.; Rosado, S.C.S.; Lima, J.T. **Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*.** Revista Árvore 27(1): 42 – 51. (2003)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n1/15920.pdf>

Cardoso, G.V.; Frizzo, S.M.B.; Rosa, C.A.B.; Foelkel, C.E.B.; Assis, T.F.; Oliveira, P. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore.** ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 5 pp. (2002)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002d.pdf>

Carneiro, C.J.G.; Wehr, T.R.; Manfredi, V. **Efeito da viscosidade nas propriedades físico-mecânicas de polpas branqueadas.** 28º Congresso Anual da ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 9 pp. (1995)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/15_viscosidade%20polpa%20e%20propriedades.pdf

Carneiro, C.J.G.; Santos, C.A.S.A.; Manfredi, V. **Caracterização da variabilidade longitudinal da árvore visando a produção de celulose.** 30º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (1997)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/13_variabilidade%20longitudinal%20madeira%20e%20qualida%20de%20polpas.pdf

Carpim, M.A.; Barrichelo, L.E.G.; Cláudio-da-Silva Jr., E.; Dias, R.L.V. **A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel.** Trabalhos Técnicos do 20º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 183 – 205. (1987)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/08_n%FAmero%20fibras%20carpim.pdf

Carvalho, A.E.; Pinto, L.A.; Massaferro, S. **Versatilidade de análise no processo de fabricação de papel.** 3º Encontro de Operadores de Máquina de Papel – ABTCP. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2004)

Carvalho, A.M.; Nahuz, M.A.R. **Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica devido ao uso múltiplo da madeira.** Cerne 10(2): 242- 256. (2004)

Disponível em:

http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/11-02-20099067v10_n2_artigo%2008.pdf

Carvalho, H.G.; Oliveira, R.C.; Gomide, J.L.; Colodette, J. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto.** 31º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 16 pp. (1998)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/06_idade%20floresta%20e%20celulose.pdf

Chatterjee, P.K.; Gupta, B.S. **Absorbent technology.** Elsevier. 500 pp. (2002)

Disponível em:

http://books.google.com.br/books?id=wIhGBPpXi8AC&pg=PA423&lpg=PA423&dq=water+re+tention+value+pulps+centrifuge&source=bl&ots=-cIP4e8EGg&sig=fi20P4w8kvrykt_aPjoPlv16aro&hl=pt-BR&ei=F526Sbr4Is-jtge5wqDkDw&sa=X&oi=book_result&resnum=58&ct=result#PPP1,M1

Demuner, B.J.; Doria, E.L.V.; Cláudio-da-Silva Jr., E.; Manfredi, V. **As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto.**

Trabalhos Técnicos do 24º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 621 – 641. (1991)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/09_papel%20e%20fibras.pdf

Demuner, B.J.; Doria, E.L.V.; Cláudio-da-Silva Jr., E.; Manfredi, V. **The influence of eucalypt fiber characteristics on paper properties.** TAPPI International Paper Physics Conference. 12 pp. (1991)

Demuner, B.; Ratnieks, E.; Robinson, D. **Ultra low intensity refining of Eucalyptus pulp.** 8th PIRA International Refining Conference. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2005)

Disponível em:

http://www.aikawagroup.com/REFINING - BARCELONA_2005.pdf

Dinus, R.J.; Welt, T. **Tailoring fiber properties to paper manufacture: recent developments.** TAPPI Pulping Conference. 16 pp. (1995)

Disponível em:

<http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/1880/1/tps-586.pdf>

Fardim, P. **Composição química da superfície da polpa kraft de Eucalyptus. Caracterização e influências nas propriedades físicas e**

físico-químicas das fibras. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. (1999)
Disponível em:
<http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/ficha40927.htm>

Fardim, P. **Paper and surface chemistry – Part 1: Fiber surface and wet end chemistry.** TAPPI Journal (September). 14 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.tappi.org/content/Journal/2002/TJ/09sep02/Fardim1_Eng.pdf

Ferreira, C.; Fantini Jr., M.; Oliveira, R.C.; Colodette, J.; Gomide, J.L. **Critérios de seleção de clones para maximizar rendimento e qualidade de celulose.** 14 pp. (Sem referência de data e de fonte)
Disponível em:
<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc049.pdf>

Flores, D.M.M.; Cardoso, G.V.; Foelkel, C.E.B.; Frizzo, S.M.B. **Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades de um clone de *Eucalyptus saligna*.** 32º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1999)
Disponível em:
<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999a.pdf>

Foelkel, C. **Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor.** I Congresso Brasileiro sobre Qualidade da Madeira. IPEF. 27 pp. (1978)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf

Foelkel, C. **Aracruz encontra no *E.globulus* uma fonte de qualidade da madeira para se tornar mais competitiva.** O Papel 65(9): 41 – 43. (2004)
Disponível em:
<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2018.%20aracruz%20encontra%20no%20e.globulus.pdf>

Foelkel, C. **Fibras e polpas.** Apresentação em PowerPoint: 30 slides. Grau Celsius website. (2005)
Disponível em:
<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Fibras%20e%20polpas.pdf>

Foelkel, C. **Differentiation in market pulp products: is market pulp a commodity product?** Apresentação em PowerPoint: 74 slides. Grau Celsius website. (2005)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Differentiation%20in%20pulps.pdf>

Foelkel, C. **Advances in *Eucalyptus* fiber properties and paper products.** III International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 6 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Advances%20in%20euca%20fiber.pdf>

Foelkel, C. **Advances in *Eucalyptus* fiber properties and paper products.** III International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 68 slides. (2007)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Advances%20in%20eucalyptus%20fiber%20properties%20and%20paper%20products.pdf>

Foelkel, C. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel.** Eucalyptus Online Book.

Capítulo 03. 48 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf

Foelkel, C. **The *Eucalyptus* fibers and the kraft pulp quality requirements for paper manufacturing.** Eucalyptus Online Book. Chapter 03. 42 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/ENG03_fibers.pdf

Foelkel, C. **Elementos de vaso e celuloses de eucaliptos.** Eucalyptus Online Book. Capítulo 04. 56 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf

Foelkel, C. **Vessel elements and *Eucalyptus* pulps.** Eucalyptus Online Book. Chapter 04. 54 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/ENG04_vessels.pdf

Foelkel, C.; Mora, E.; Menochelli, S. **Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade para madeira de eucalipto para produção de celulose.** VI Congresso Florestal Brasileiro. 21 pp. (1990)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Db%20sua%20verdadeira%20utilidade.pdf>

Gärd, J. **The influence of fibre curl on the shrinkage and strength properties of paper.** Tese de Mestrado. Lulea Tekniska Universitet. 42 pp. (2002)

Disponível em:

<http://epubl.luth.se/1402-1617/2002/257/LTU-EX-02257-SE.pdf>

Gomes, A.F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. 141 pp. (2007)

Disponível em:

http://bibtede.ufla.br/tde//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1072

Gomes, I.M.B.; Pereira, A.M.; Yodoval, P. **“Mix” de madeiras: a busca do melhor desempenho global.** 31º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14 pp. (1998)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_mix%20madeira%20isabel.pdf

Gomes, F.J.B.; Gouvea, A.F.G.; Colodette, J.; Gomide, J.L.; Carvalho, A.M.M.L.; Trugilho, P.F.; Gomes, C.M.; Rosado, A.M. **Influência do teor e da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação kraft.** O Papel 69(12): 95 – 105. (2008)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_rela%E7%E3o%20sg.pdf

Gomide, J.L. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus*.** IX Biowork. Apresentação em PowerPoint: 36 slides. (2007)

Disponível em:

http://www.forestbiotech.org/pdf/Qualidade_da_Madeira_de_Eucalyptus-Jose_Livio_Gomida.pdf

Gomide, J.L.; Colodette, J.; Oliveira, R.C.; Silva, C.M. **Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil.** Revista Árvore 29(1): 129 – 137. (2005)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24242.pdf>

Gomide, J.L.; Fantuzzi Neto, H.; Leite, H.G. **Técnica para estabelecimento da qualidade tecnológica da madeira de eucalipto visando produção de celulose kraft.** 13 pp. (Sem referência de data e de fonte)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc048.pdf>

Gonçalves, C. **The *Eucalyptus* fibers for tissue papers.** 7 pp. Voith Paper. (Sem referência de data ou de fonte)

Graça, J. **Composição química da madeira de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).** Universidade Técnica de Lisboa. 34 pp. (Sem referência de data) Disponível em:

http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/tpf/PF_Mod2_QuimicaEucalipto.pdf

Gratapaglia, D. **Melhoramento de *Eucalyptus*: híbridos, clonagem e marcadores moleculares.** CENARGEN EMBRAPA. Apresentação em PowerPoint: 88 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.cenargen.embrapa.br/palestras/21102006/21102006_001.pdf

Joutsimo, O.; Wathén, R.; Tamminen, T. **Effect of fiber deformations on pulp sheet properties and fiber strength.** 16 pp. (2004)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2004/isbn9512274450/article5.pdf>

Kaneco, S.Y. **Influência da adição de fibra longa de *Pinus* à polpa de eucalipto na resistência da folha úmida e na qualidade do papel.** Monografia Curso Especialização UFV – Universidade Federal de Viçosa. 59 pp. (2004)

Kibblewhite, P. **Fibre influences on tissue quality.** II International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 59 slides. (2005)

Disponível em:

http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/SIII_5.pdf

Kole, C.; Hall, T. **Compendium of transgenic crop plants. Volume 9: Transgenic forest tree species.** *Eucalyptus*: 35 – 108. Wiley-Blackwell. (2008)

Kunnari, V.; Salminen, K.; Oksanen, A. **Effects of fibre deformations on strength and runnability of wet paper.** Paperi jaa Puu Paper and Timber. 89(1): 46 – 49. (2007)

Lazaretti, D.S.; Reis, E.R.; Serafim, K.; Souza, M.H.; Frizzo, S.M.B.; Foelkel, C.E.B. **Variação radial da densidade básica em função da altura de árvores de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna*.** ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 9 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202003b.pdf>

Lehtonen, J. **Innovation in papermaking furnish and impact on the future use of various pulp fibres.** Paper Stock Preparation Conference Munich. Apresentação em PowerPoint: 39 slides. (2005)

Disponível em:

http://www.glocell.info/datafiles/userfiles/File/presentations%20and%20articles/Juhani%20Lehtonen_presentation_print%20PTS%202005.pdf

Lieshout, M. van. **The effect of wet pressing on paper quality.** Tese de Doutorado. Universidade de Groningen. 128 pp. (2006)

Disponível em:

<http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2006/m.van.lieshout/thesis.pdf>

Longui Jr., D. **Métodos alternativos para aproveitamentos das hemiceluloses da madeira de eucalipto na indústria de celulose kraft.**

Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 128 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1102

Manfredi, V.; Barrichelo, L.E.G. **Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do eucalipto.** 18º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 26 pp. (1985)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_variabilidade%20ao%20longo%20tronco.pdf

Marcelo, C.R. **Determinação da relação siringila/guaiacila em ligninas de *Eucalyptus spp* por pirólise associada à cromatografia gasosa e à espectrometria de massa.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 78 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1074

Mariani, S.; Torres, M.; Fernández, A.; Morales, E. **Variabilidad en sentido radial en *Eucalyptus nitens* y su efecto sobre pulpa kraft.** 8 pp. (Sem referência de data ou de fonte)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc036.pdf>

Meyers, J.; Nanko, H. **Effect of fines on the fiber length and coarseness values measured by the Fiber Quality Analiser (FQA).**

TAPPI Conference. 8 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.cpbis.gatech.edu/research/working_papers/CPBIS-WP-05-06%20Meyers_Nanko%20TAPPI%202005%20Tech%20Conf.pdf

Miranda, C.; Barrichelo, L.E.G. **Celulose de madeira de *Eucalyptus citriodora*: influência do tamanho dos cavacos.** 23º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 35 pp. (1990)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_citriodora%20e%20cavacos.pdf

Mokfienski, A.; Gomide, J.L.; Colodette, J.; Oliveira, R.C. **Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira no desempenho da linha de fibras.** 14 pp. (Sem referência de data e de fonte)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc099.pdf>

Mokfienski, A.; Colodette, J.; Gomide, J.L.; Carvalho, A.M.M.L. **A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento da polpa e na qualidade do produto.** Ciência Florestal 18(3): 401- 413. (2008)

Disponível em:

<http://www.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v18n3/A13V18N3.pdf>

Mohlin, U.B.; Salmén, L. **Which are the important fibre properties?** STFI. 5 pp. (Sem referência de data e fonte)

Moore, G.K.; Jopson, R.N. **The onward march of *Eucalyptus*.** Paper 360º (Setembro): 14 – 15. (2008)

Disponível em:

<http://www.paper360.org/paper360/data/articlestandard/paper360/382008/551633/article.pdf>

Moraes, R. **The era of transgenic *Eucalyptus*.** TAPPI Journal Tecklink. Paper 360º (Dezembro): 32 – 34. (2008)

Disponível em:

http://www.tappi.org/s_tappi/bin.asp?CID=11795&DID=562309&DOC=FILE.PDF

Oliveira, R.C. **Influência das características tecnológicas de fibras no andamento de máquina e propriedades do papel.** UFV – Universidade Federal de Viçosa. Laboratório de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (Sem referência de data)

Pereira, J.C.D.; Sturion, J.A.; Higa, A.R.; Higa, R.C.V.; Shimizu, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucaliptos plantadas no Brasil.** Documentos, Nº 38. Embrapa Florestas. 112 pp. (2000)

Disponível em:

<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/docum38.pdf>

Pereira, J.L. **Proteoma comparativo de xilema de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus globulus*.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Brasília. 100 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.bdtd.ucb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=702

Pinto, P.; Evtuguin, D.V.; Pascoal Neto, C. **The chemistry of *Eucalyptus globulus* wood: peculiarities and impact on pulping and bleaching behaviour.** III CIADICYP. 4 pp. (2004)

Disponível em:

<http://www.riadicyp.org.ar/downloads/ciadi2004/TR142.pdf>

Póvoa, A.M. **Freqüência de SNPs, estrutura de haplótipos e desequilíbrio de ligação para os genes CAD2 e COMT2 da via de lignificação em *Eucalyptus*.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Brasília. 126 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.bdtd.ucb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=377

Pulkkinen, I.; Alopaeus, V.; Fiskari, J.; Joutsimo, O. **The use of fibre wall thickness data to predict handsheet properties of eucalypt pulp fibres.** O Papel 69(10): 71 - 85. (2008)

Disponível em:

http://www.celso-foekel.com.br/artigos/outros/02_Eucalyptus%20USE%20OF%20FIBRE%20WALL%20THICKNESS%20DATA%20TO%20PREDICT%20H.pdf

Ramezani, O.; Nazhad, M.M. **The efect of coarseness on paper formation.** African Pulp and Paper Week. TAPPSA website. (2004)

Disponível em:

http://www.tappa.co.za/archive2/APPW_2004/Title2004/The_effect_of_coarseness/the_effect_of_coarseness.html

Resquin, F.; Barrichelo, L.E.G.; Silva Jr., F.G.; Brito, J.O.; Sansigolo, C.A. **Wood quality for kraft pulping *Eucalyptus globulus* origins planted in Uruguay.** Scientia Forestalis 72: 57 – 66. (2006)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr72/cap07.pdf>

Rocha, F.T.; Florsheim, S.M.B.; Couto, H.T.Z. **Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* aos sete anos.** Revista do Instituto Florestal de São Paulo 16(1): 43 – 55. (2004)

Disponível em:

http://www.iforestal.sp.gov.br/publicacoes/Revista_if/rev16-1pdf/varia%E7%E3o%20das%20dimens%F5es.pdf

Rosa, C.A.B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 150 pp. (2003)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Claudia.pdf

Ruusumo, P.; Sacon, V.; Fardim, P. **Grupos aniônicos em fibras de polpa de eucalipto: perfil de concentração numa linha de branqueamento.**

O Papel 69(10): 56 – 69. (2008)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/04_grupos%20ani%F4nicos%20fibras%20euca.pdf

Samistraro, G. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infra-vermelho próximo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 115 pp. (2008)

Disponível em:

<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/16955/1/Dissertação%20Gisely%20Samistraro.pdf>

Santos, C.R.; Sansigolo, C.A. **Métodos não-normatizados para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa kraft-AQ.** I CIADICYP. 14 pp. (2000)

Disponível em:

http://ciadicyp.unam.edu.ar/trabajos/trabajos/pulpa_y_pulpados/Sansigolo-31-UNESP-Br.pdf

Santos, S.N. **Genes de lignificação em *Eucalyptus*: estrutura e diversidade genética dos genes 4cl e ccoaomt.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Brasília. 229 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.bdtd.ucb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=203

Santos, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 178 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/santos,sr.pdf>

Severo, E.T.D.; Calonego, F.W.; Sansigolo, C.A. **Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais.** Silva Lusitanica 14(1): 113 – 126 (2006)

Disponível em:

<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v14n1/v14n1a09.pdf>

Silva, E.C.; Martins, M.A.L.; Foelkel, C.E.B.; Frizzo, S.M.B. **Seleção de critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos na fabricação de papéis para impressão “offset”**. Ciência Florestal 10(1): 57 – 75. (2000)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ciencia_florestal/sele%20crit%20rios%202000.pdf

Silva, J.F.; Carneiro, C.J.G. **Determinação de parâmetros genéticos para as características silviculturais e tecnológicas de seleção de clones**. 36º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 9 pp. (2003)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/05_herdabilidades.pdf

Silva, V.L. **Caracterização de ligninas de *Eucalyptus spp.* pela técnica de pirólise associada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 85 pp. (2006)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/37/TDE-2006-11-07T124205Z-57/Publico/texto%20completo.pdf

Silvério, F.O.; Barbosa, L.C.A.; Gomide, J.L.; Reis, F.P.; Piló-Veloso, D. **Metodologia de extração e determinação do teor de extractivos em madeiras de eucalipto**. Revista Árvore 30(6): 1009 – 1016. (2006)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n6/a16v30n6.pdf>

Soria, L.; Resquin, F.; Mello, J.C.; Fariña, I.; Faroppa, C. **Caracterización de la celulosa de especies del género *Eucalyptus* plantadas en Uruguay**. Documentos INIA. 47 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/tb/ad/2004/ad_374b.pdf

Sousa, L.C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 93 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=33

Sousa, S.; Simões, R.; Duarte, A.P. **Determinação de carga iônica das pastas: efeito da refinação e do teor de hemiceluloses**. II CIADICYP. 8 pp. (2004)

Disponível em:

<http://www.riadicyp.org.ar/downloads/ciadi2004/TR037.pdf>

Souza, K.C.A. **Atenuação do processo de lignificação em células de *Eucalyptus urophylla*, em suspensão, por 2,4-D (Ácido 2,4 - diclorofenoxiacético)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 62 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.if.ufrj.br/pgcaf/pdfdt/Dissertacao%20Kelly%20Carla.pdf>

Souza, S.M.; Silva, H.D.; Pinto Jr., J.E. **Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente em *Eucalyptus pilularis*.** Boletim de Pesquisas Florestais. EMBRAPA Florestas 26/27: 03 – 16. (1993)

Disponível em:

http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim26_27/ssousa.pdf

Tomazello Filho, M. **Formação e variação da estrutura da madeira de *Eucalyptus*.** ABTCP/ESALQ-USP. 70 pp. (1988)

Disponível em:

http://www.celso-foekel.com.br/artigos/outros/03_forma%E7%E3o%20e%20varia%E7%E3o%20madeira%20Tomazello.pdf

Tolfo, A.L.T.; Paula, R.C.; Bonine, C.A.V.; Bassa, A.; Valle, C.F. **Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus spp.*** Scientia Forestalis 67: 101 – 110. (2005)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67/cap10.pdf>

Trugilho, P.F.; Lima, J.T.; Mendes, L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** 15 pp. (Sem referência de data e de fonte)

Disponível em:

<http://www.ufra.edu.br/lafm//bibliografia/PAULO.pdf>

VCP. **Extensão florestal.** Apresentação em PowerPoint: 46 slides. (2005)

Via, B.K.; Stine, M.; Shupe, T.F.; So, C.L.; Groom, L. **Genetic improvement of fiber length and fiber coarseness based on paper product performance and material variability – a review.** IAWA Journal 25(4): 401 – 414. (2004)

Disponível em:

[http://bio.kuleuven.be/sys/iawa/PDF/IAWA%20J%2021-25/25%20\(4\)%202004/25\(4\)%20401-414.pdf](http://bio.kuleuven.be/sys/iawa/PDF/IAWA%20J%2021-25/25%20(4)%202004/25(4)%20401-414.pdf)

Waterhouse, J.F. **Characterizing pulps for paper-machine runnability.** TAPPI Engineering Process and Quality Conference. 14 pp. (1999)

Disponível em:

<http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/3055/1/tps-797.pdf>

Wathén, R. **Studies on fiber strength and its effect on paper properties.** Tese de Doutorado. Helsinki University of Technology. 98 pp. (2006)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512285258/isbn9512285258.pdf>

Wärtzig, D.; Weihs, J.P. **Accurate vessel cell measurement improves runnability of high-end papers.** TAPPI Journal Tech Link. Paper 360º (Agosto). 4 pp. (2008)

Disponível em:

<http://www.paper360.org/paper360/data/articlestandard/paper360/352008/545049/article.pdf>

Zhu, J.Y.; Vahey, D.W.; Scott, C.T.; Myers, G.C. **Effect of tree-growth rate on papermaking fiber properties.** 61º Congresso APPITA. 9 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.fpl.fs.fed.us/documents/pdf2007/fpl_2007_zhu002.pdf